

СМАЗОЧНО- ОХЛАЖДАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА

для обработки
металлов
резанием

СПРАВОЧНИК

84.8
С-50

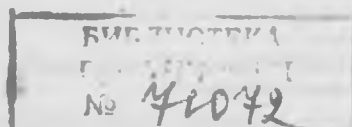
СМАЗОЧНО- ОХЛАЖДАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА

для обработки
металлов
резанием

СПРАВОЧНИК

2-е издание,
переработанное и дополненное

Под общей редакцией
проф. С.Г. Энталиса,
канд. техн. наук Э.М. Берлинера



71072-71076

5 т.а



МОСКВА

« МАШИНОСТРОЕНИЕ »

1995

ББК 34.5

C50

УДК 621.9.079.621.7.079(031)

А в т о р ы: С. Г. Энтелис, Э. М. Берлинер, В. А. Годлевский, Э. М. Деришва, Ю. С. Дубровский, А. К. Караулов, М. И. Клушин, В. И. Костюк, И. В. Кумпаненко, В. Н. Латышев, Е. В. Лебедев, К. Леник (Польша), В. С. Лобанцова, А. К. Маскаев, В. А. Пастунов, Н. В. Перцов, П. А. Рутман, М. Е. Серов, Д. И. Сникин, М. Я. Слободник, А. И. Сошко, З. М. Сухоруков, В. М. Тихонов, Л. В. Худобин, А.И. Чулок

Рецензент канд. техн. наук Н.С. Жучков

Издание выпущено в счет дотации, выделенной Комитетом РФ по печати

Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: Справочник/Под общей ред. С.Г. Энтелиса, Э.М. Берлинера. — 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1995. 496 с.: ил.

ISBN 5-217-01746-5

Приведены функциональные свойства смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС), методы их контроля, современная номенклатура СОТС, сведения по взаимозаменяемости СОТС и технологии их производства. Даны рекомендации по выбору и применению СОТС, защите окружающей среды.

Второе издание (1-е изд. 1986 г.) переработано и дополнено сведениями о новых составах СОТС, об установках для регенерации, о новых биологических способах очистки СОТС и др.

Для инженерно-технических работников машиностроительных заводов, конструкторских, технологических и исследовательских организаций.

С 2704004000 — 048

КБ 3-260-94

ББК 34.5

038(01) — 95

СПРАВОЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Энтелис Сергей Генрихович, Берлинер Эдуард Максович, Годлевский Владимир Александрович и др.

СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ

Редактор Е.Ю. Уралова

Технический редактор Н.М. Харитонова

Художественный редактор С.Н. Голубев

Корректоры Л.Л. Коричнева, О.Е. Мишина

ИБ № 6871

Лицензия ЛР № 080003 от 15.08.91

Сдано в набор 24.12.93. Подписано в печать 30.10.94. Формат 60×88 1/16.

Бумага офсетная. Гарнитура "Таймс". Печать офсетная. Усл. печ. л. 30,38.

Усл. кр.-отт. 30,38. Уч.-изд. л. 36,11. Тираж 3000 экз. Заказ 2571

Ордена Трудового Красного Знамени издательство "Машиностроение."
107076, Москва, Стромынский пер., 4

Отпечатано с привозных диапозитивов в Московской типографии № 2 РАН
121099, Москва, Шубинский пер., 6

ISBN 5-217-01746-5

© Издательство "Машиностроение", 1986

© Издательство "Машиностроение", 1995,
с изменениями

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие к первому изданию	6	Глава IV. Современный ассортимент СОРС	102
Предисловие ко второму изданию	7	1. Классификация современных СОРС (Е. В. Лебедев)	102
Глава I. Механизм действия смазочно-охлаждающих технологических сред при обработке металлов резанием (И. В. Кумпаненко, С. Г. Энтелис)	8	2. Ассортимент и характеристика современных отечественных СОРС (Е. В. Лебедев, Ю. С. Дубровский)	105
1. Физико-механические аспекты резания металлов и изнашивание инструмента	8	3. Полимерсодержащие СОРС (А. И. Сошко)	137
2. Действие СОРС	13	4. СОРС в микрокапсулах (В. Н. Латышев, В. А. Годлевский)	149
Список литературы	22	5. Металлические расплавы (Н. В. Перцов, П. А. Рутман)	152
Глава II. Функциональные свойства СОРС и методы их контроля	23	6. Пасты, пластичные и твердые смазочные материалы (А. К. Караулов, Ю. С. Дубровский)	162
1. Смазывающее действие СОРС (Э. М. Берлинер)	23	7. Газообразные СОРС (А. К. Караулов, Ю. С. Дубровский)	168
2. Смачивающее и проникающее действие СОРС (Э. М. Берлинер, К. Леник)	50	Список литературы	170
3. Охлаждающие свойства СОРС (Э. М. Берлинер)	54	Глава V. СОРС для лезвийной обработки металлов и сплавов	173
4. Моющая способность СОРС (Э. М. Берлинер, К. Леник)	63	1. Основные принципы выбора СОРС (М. И. Клушин, В. М. Тихонов)	173
5. Режущее и пластифицирующее действия СОРС (Н. В. Перцов, П. А. Рутман)	65	2. Методические положения по определению технологических свойств СОРС (М. И. Клушин, В. М. Тихонов, Д. И. Симкин)	198
Список литературы	76	3. СОРС для обработки серых чугунов (М. И. Клушин, В. М. Тихонов, М. Я. Слободник)	205
Глава III. Производство СОРС (А. К. Маскаев, Е. В. Лебедев)	78	4. СОРС для обработки углеродистых и легированных сталей (М. И. Клушин, В. М. Тихонов, Д. И. Симкин, З. М. Сухоруков)	209
1. Компоненты СОРС	79		
2. Методы физико-химической оценки качества СОРС	94		
3. Технология и оборудование для производства СОРС	97		
Список литературы	100		

5. СОТС для обработки алюминиевых сплавов (М. И. Клушин, З. М. Сухоруков, М. Е. Серов)	228	8. СОТС для ленточного шлифования и полирования	308
Список литературы	234	9. СОТС для алмазно-абразивной притирки	311
Глава VI. СОТС для обработки резанием труднообрабатываемых материалов и полупроводников (В. А. Пистунов)	235	10. Рекомендации по выбору СОТС для шлифования, хонингования и суперфиниширования	316
1. СОТС для механической обработки коррозионно-стойких сталей	235	Список литературы	318
2. СОТС для механической обработки жаропрочных сталей и сплавов	246	Глава VIII. Эксплуатация СОТС в гибких автоматизированных производствах	320
3. СОТС для механической обработки высокопрочных сталей и тугоплавких материалов	253	1. Специфические особенности СОТС для ГАП (А. И. Чулок)	320
4. СОТС для механической обработки титановых сплавов	260	2. Автоматизированная информационно-измерительная система управления качеством СОТС (А. И. Чулок)	325
5. СОТС для обработки резанием полупроводников (В. Н. Латышев, В. А. Годлевский)	264	3. Методы и приборы автоматизированного контроля и диагностики СОТС (А. И. Чулок, В. С. Лобанцова)	328
Список литературы	265	4. Опыт эксплуатации СОТС для ГАП (А. И. Чулок, В. С. Лобанцова)	331
Глава VII. СОТС для алмазно-абразивной обработки металлов (Э. М. Берлинер)	267	Список литературы	335
1. Характеристика СОТС для шлифования	267	Глава IX. Техника применения СОТС (Ю. С. Дубровский)	336
2. Основные принципы выбора СОТС для шлифования	269	1. Транспортирование и хранение СОТС	336
3. Методические положения по проведению испытаний технологических свойств СОТС для шлифования	276	2. Входной контроль СОТС	338
4. СОЖ для обработки металлов абразивными кругами	284	3. Приготовление СОТС	338
5. СОТС для шлифования металлов кругами из синтетических алмазов и эльбора	292	4. Текущий контроль СОТС в процессе эксплуатации	349
6. Твердые смазочные материалы для шлифования, заточки и доводки	303	5. Комплекс мероприятий по продлению срока службы СОТС	363
7. СОТС для хонингования и суперфиниширования	306	6. Способы и техника подачи СОТС в зону обработки (Л. В. Худобин)	371
		7. Индивидуальные, групповые и централизованные системы применения СОЖ (Л. В. Худобин)	385
		8. Охрана труда и техника безопасности при работе с СОТС	402
		Список литературы	406

Глава X. Активация СОТС внешними энергетическими воз- действиями (В. Н. Латышев, В. А. Годиевский)	409

Список литературы	413

Глава XI. Загрязнение окружаю- щей среды. Разложение, утили- зация и регенерация отработан- ных водосмешиваемых СОТС (В. И. Костюк)	414

1. Физико-химические спо-
собы разложения отрабо-
танных эмульсий
2. Термические способы обез-
вреживания
3. Биохимические способы
очистки
4. Использование отработан-
ных СОТС в строительной
промышленности
5. Техничко - экономическая
оценка способов перера-
ботки отработанных водо-
смешиваемых СОТС

Список литературы	427

Глава XII. Экономическая эф- фективность применения СОТС (М. И. Клушин, Д. И. Симкин, Э. М. Деришева)	429

Список литературы	437

Глава XIII. Использо- вание САПР при проектировании службы СОТС (А. И. Чулок)	438

Список литературы	447

Приложения	448

1. Адреса предприятий — из-
готовителей основных ма-
рок биоцидных присадок,
моющих и моюще-дезин-
фицирующих средств
2. Адреса предприятий — из-
готовителей оборудования
для магнетания и очистки
СОЖ
3. Зарубежные СОТС

ПРЕДИСЛОВИЕ К ПЕРВОМУ ИЗДАНИЮ

Совершенствование процессов обработки металлов резанием имеет огромное значение для современного машиностроения, развитие которого требует применения большого числа разнообразных смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС).

Рациональный подбор и создание высокоэффективных СОТС возможны только при глубоком изучении природы их действия. Однако до недавнего времени основательно изучали лишь влияние СОТС на механические и технологические параметры процессов резания, а подбор СОТС осуществляли эмпирически.

Сегодня стало очевидным, что для исследования сложных процессов, протекающих при обработке металлов в присутствии СОТС, следует использовать методы химической физики. Необходимо изучение следующих ключевых вопросов: кинетики и меха-

низма превращения компонентов СОТС в условиях высоких температур и нагрузок, транспортирования продуктов этих превращений — физико-химической плазмы — непосредственно в зону резания; механизма взаимодействия плазмы с металлическими поверхностями обрабатываемой детали и инструмента. Решение этих вопросов поможет превратить поиск новых СОТС из чисто эмпирической в теоретически обоснованную отрасль техники.

Большим достоинством настоящего справочника являются исчерпывающее описание имеющихся СОТС, а также наличие материалов, в которых обобщен имеющийся опыт по применению СОТС в различных случаях.

*Дважды Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской и Нобелевской премий, академик
Н. Н. Семенов*

ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ

Современные СОТС, как правило, представляют собой сложные многокомпонентные композиции, отвечающие комплексу требований к их технологическим и сопутствующим свойствам. Опыт передовых машиностроительных заводов показывает, что эффективные СОТС позволяют в 1,2—4 раза повысить стойкость инструмента, на 20—60% форсировать режимы резания, на 10—50% повысить производительность труда, уменьшить энергозатраты при механообработке.

Применение новых более рациональных СОТС позволяет повысить качество обработки, улучшить санитарно-гигиенические условия труда рабочих, более полно использовать возможности современного автоматизированного оборудования, особенно при обработке жаропрочных, жаростойких, коррозионно-стойких и других труднообрабатываемых материалов.

В металлообрабатывающей промышленности используются десятки СОТС массового и специального назначения, отвечающих современным требованиям и составляющих основу базового ассортимента. В справочнике дана их классификация, приведены рекомендации по их применению на машиностроительных заводах.

Рассмотрен широкий комплекс вопросов теоретического и прикладного плана, связанных с получением, подбором, эксплуатацией и утилизацией СОТС.

По сравнению с первым изданием в справочнике введены новые главы, в которых рассмотрены специфика применения СОТС на ГПС, возможности использования ЭВМ при разработке и подборе СОТС, приведены новые составы СОТС.

В справочнике использованы ГОСТы, действующие на 1 января 1994 г.

1. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ И ИЗНАШИВАНИЕ ИНСТРУМЕНТА

Важнейшими составляющими сложного механизма резания металлов являются процессы пластической деформации, трения, изнашивания и разрушения, протекающие в зоне контакта инструмента и заготовки.

При ортогональном резании линия режущей кромки перпендикулярна к вектору относительной скорости заготовки и резца для случая сливного стружкообразования и отсутствия нароста на резце. На рис. 1 схематически изображена модель ортогонального резания с развитой зоной пластической деформации. Эта зона при определенных условиях, например при увеличении скоро-

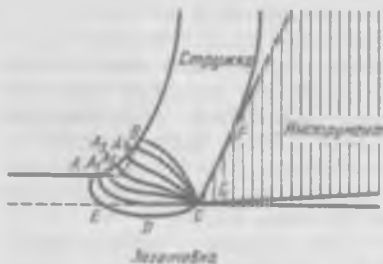


Рис. 1. Схема оригинального резания с развитой южной пластической деформацией

сти резания, может сужаться и трансформироваться в квазиплоскость скольжения. В общем случае зона деформации характеризуется совокупностью поверхностей скольжения, проекции которых на плоскость чертежа в виде поля линий скольжения (CA , CA_1 , CA_2 и т. д.) представлены на рис. 1. Пластическая деформация начинается в заготовке по линии $AEDC$, которая проходит ниже следа режущей кромки, что объясняет сильную деформацию металла в поверхностном слое заготовки после прохода резца. Изменение знака напряжений в этом слое по обе стороны от режущей кромки может приводить в рамках усталостного механизма к образованию большого числа хорошо развитых поверхностных микротрещин, ослабляющих при следующем проходе резца напряжение в зоне сдвига. Зона пластической деформации охватывает также некоторую часть стружки вплоть до линии BC .

В основе пластической деформации при резании лежат процессы перемещения дислокаций, самодиффузии и диффузии. Дислокационная пластическая деформация поликристаллического металла сопровождается возрастанием плотности дислокаций и последующей их аннигиляцией в объеме, выходом и разрядкой дислокаций на поверхности и на

границах кристаллических зерен, а также образованием химически чистой (ювенильной) поверхности с резким возрастанием поверхностной энергии. Для этой поверхности характерно наличие свободных валентностей, число которых может достигать 10^{15} на 1 см^2 . Уменьшение химической активности ювенильной поверхности за счет пассивирующих агентов со свободными валентностями — один из резервов снижения износа режущего инструмента. Как раз к такому эффекту приводит сорбция на ювенильной поверхности продуктов превращения СОТС.

В начале процесса пластической деформации исходного материала, когда плотность дислокаций в кристаллической решетке относительно мала (для отожженного монокристалла железа и его сплавов она равна 10^5 — 10^7 см^{-2}), вероятность прохода дислокации через весь объем кристаллита без столкновения с другой дислокацией, приводящего к их взаимной остановке, велика. Большинство дислокаций в начальной стадии деформации беспрепятственно выходит на поверхность кристаллита, разряжаясь, поэтому сопротивление сдвигу минимально и слабо зависит от деформации. С дальнейшим развитием деформации плотность дислокаций возрастает (до 10^{12} см^{-2}), их движение в кристалле затормаживается, что увеличивает сдвиговое сопротивление. Такое явление называется деформационным упрочнением, или наклепом, и наиболее явно проявляется при деформации металлов с кубической кристаллической решеткой, в частности железа и его сплавов.

При резании металла величины напряжений и деформаций сдвига, развиваемые в зоны пластической деформации, достигают столь высоких значений, что часть дислокаций выходит из плоскостей скольжения, в которых они находились. При встрече дислокации противоположных знаков взаимно уничтожаются. Таким образом, в условиях резания вслед за стадией упрочнения наблюдается процесс разрядки дислокационной плотности, следствием которого является возрастание пластичности.

Самодиффузионная и диффузионная пластические деформации, проявляющиеся в основном при повышенных температурах ($T \geq 0,5T_{\text{плав}}$), контролируются встречными потоками точечных дефектов в кристаллической решетке, т. е. вакансий, междоузельных и примесных атомов в зоне деформации. В неоднородном поле напряжений примесные атомы различной природы избирательно заполняют области локального сжатия и растяжения, диффундируя через объем кристаллита и по границам зерен в поликристаллических материалах. При этом уменьшаются свободная энергия напряженного состояния и энергозатраты на деформацию. Диффузионный механизм деформации проявляется наиболее полно при непрерывном внедрении примесных атомов соответствующей природы в зону деформации, например, с помощью СОТС. В экстремальных условиях высоких сдвиговых напряжений и температур массоперенос примесных атомов может достичь критического значения, при котором наблюдаются фазовое превращение и образование стабильных в на-

груженном состоянии фаз с более низким сдвиговым сопротивлением. В случае, когда эти фазы являются эвтектическими системами с температурой плавления ниже температуры, развиваемой в зоне резания, сопротивление сдвигу по плоскостям, проходящим через эвтектику, резко снижается и пластическая деформация переходит в пластическое течение.

Процесс резания характеризуется исключительно высокими значениями относительной деформации материала. Такие деформации при давлении, близком к атмосферному, привели бы к разрушению образца при растяжении. Однако в зоне пластической деформации возникает большое гидростатическое давление, препятствующее разрыву материала.

Резание сопровождается трением рабочих поверхностей инструмента в местах их нормального нагружения о заготовку (задняя поверхность, проекция *CG* на рис. 1) и стружку (передняя поверхность, проекция *CF*). При небольших нормальных нагрузках трущиеся поверхности контактируют в местах отдельно выступающих неровностей (в пятнах контакта) так, что фактическая площадь контакта S_r составляет незначительную долю номинальной площади. Фактическое давление p_r в пятнах контакта достигает предела текучести σ_t даже при небольшой нормальной нагрузке N ; увеличение N практически не влияет на значение p_r , а сказывается только на величине S_r . Постепенное увеличение нормальной нагрузки приводит, как правило, к пропорциональному росту фактической площади кон-

такта вследствие пластической деформации микронеровностей более мягкого тела:

$$S_r = N / \sigma_t. \quad (1)$$

Сила трения без смазочного материала для двух контактирующих тел является суммой всех тангенциальных сил, возникающих в пятнах контакта при перемещении одного тела относительно другого. При этом тангенциальные силы в пятнах контакта складываются из адгезионных сил, возникающих вследствие химических (металлических) связей в «мостиках сварки» и межмолекулярных физических связей; сил сопротивления сдвигу при пластической деформации выступающих микронеровностей на поверхности тела (дислокационный и диффузионный механизмы) и пластической деформации поверхностного слоя (краудинный механизм); сил сопротивления скалыванию микронеровностей для материалов, склонных к хрупкому разрушению, и т. п.

При наличии в зазоре между трущимися поверхностями среды наблюдается существенное перераспределение доли перечисленных сил в суммарной силе трения. В частности, адгезионное взаимодействие практически исчезает, а силы сопротивления двух последних типов значительно снижаются благодаря эффекту Ребиндера (см. с. 66). Однако к общей силе трения теперь добавляются силы сопротивления сдвигу при пластической деформации или пластическом течении этой среды.

Предел текучести при сдвиге в малой степени зависит от гидростатического давления. Поэтому сила трения, определяемая адгезионными силами и силами

сопротивления сдвигу, пропорциональна фактической площади контакта и в соответствии с (1) нормальной нагрузке N . Таким образом, при умеренных нагрузках (малых S_r) существует линейная зависимость силы трения от N .

При значительном росте N фактическая площадь контакта приближается к своему предельному значению, равному номинальной площади, и сила трения в этом случае практически не зависит от нормальной нагрузки.

На рис. 2 показаны идеализированные кривые распределения нормальной σ и касательной τ составляющих напряжений на передней поверхности инструмента, соответствующие случаю, когда гидростатическое давление не влияет на предел текучести при сдвиге. Область пластического контакта передней поверхности инструмента со стружкой расположена в интервале от точки H до режущей кромки C . В этом интервале нормальное напряжение монотонно возрастает от предела пластического контакта σ_H до своего максимального значения на кромке σ_C , а тангенциальное

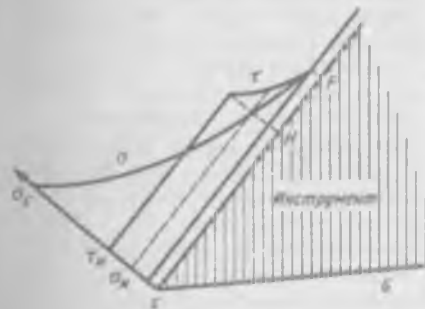


Рис. 2. Распределение касательной τ и нормальной σ составляющих напряжений на передней поверхности режущего инструмента

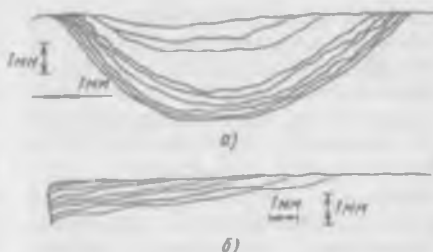


Рис. 3. Динамика изменения формы лунки (а) и фаски (б) износа с интервалом 2 мин (точение: скорость резания 150 м/мин; подача 0,127 мм/об; глубина 2,5 мм; заготовка — сталь 1020)

напряжение постоянно. При выходе из области пластического контакта величина σ становится меньше предела σ_H , а между ней и тангенциальной составляющей возникает линейная зависимость: $\tau = f\sigma$, где f — коэффициент трения. Соответствующая область называется областью упругопластического контакта. На рис. 2 она расположена в интервале HF .

Из соотношения (1) вытекает, что нормальная нагрузка, необходимая для достижения области пластического контакта, существенным образом зависит от среды, находящейся между двумя контактирующими поверхностями, и температуры, так как механикохимические свойства этой среды и температура в значительной мере влияют на предел текучести σ_t .

Передняя и задняя поверхности инструмента в процессе работы подвергаются интенсивному изнашиванию. На рис. 3 показана динамика изменения профиля износа на передней (лунка) и задней (фаска) поверхностях реза.

Механизм изнашивания трущихся пар различен. Усталостно-

адгезионное изнашивание режущего инструмента протекает следующим образом. В процессе трения произвольный выбранный микрообъем, примыкающий к трущейся поверхности тела (инструмента), вследствие адгезионного или иного контакта с микронеровностями контртела (заготовки) испытывает циклическую нагрузку, т. е. напряжение, вектор которого быстро меняется во времени. В связи с таким воздействием в этом микрообъеме накапливаются и развиваются микротрещины, которые в конце концов и являются причиной его разрушения. Отделение частиц в процессе изнашивания происходит в результате адгезионного взаимодействия или вымывания средой. Снижению усталостно-адгезионного изнашивания способствует уменьшение адгезионных и других взаимодействий между микронеровностями трущихся пар.

Отделяющиеся в результате усталостно-адгезионного изнашивания частицы, испытавшие упрочняющее воздействие пластической деформации, внедряются в поверхность более мягкого материала заготовки и стружки, выполняя роль абразивного материала при изнашивании инструмента. Микронеровности на поверхности стружки и заготовки в принципе также могут быть причиной абразивного изнашивания. И, наконец, в обрабатываемых сталях многих марок имеются включения твердых частиц (карбидов, интерметаллидов, оксидов), которые также могут выполнять роль абразивного материала и тем самым увеличивать изнашивание инструмента.

Механохимическое изнашива-

ние связано с протеканием на поверхностях трения химических реакций. Благодаря резко интенсифицирующимся в зоне резания химическим и диффузионным процессам при наличии химически активной технологической среды на контактирующих металлических поверхностях образуются пленки — продукты реакции среды с металлом, обладающие иными, чем у материала контртела, физико-механическими свойствами. Эти пленки в процессе трения рабочих поверхностей инструмента отслаиваются и удаляются из зоны резания. Частным случаем механохимического изнашивания является окислительное изнашивание, в процессе которого происходит окисление поверхностей и удаление окислов металлов.

Диффузионное изнашивание связано с разупрочнением режущего инструмента в результате диффузии и удаления углерода и легирующих элементов из слоев, примыкающих к рабочим поверхностям, в заготовку, стружку и в частицы износа. Оно возникает при наличии адгезионного контакта трущихся поверхностей. Скорость диффузионного изнашивания резко падает при уменьшении фактической поверхности адгезионного контакта и температуры в пятнах контакта. Снижения диффузионного изнашивания можно добиться также путем непрерывной подачи в зону контакта углерода и легирующих элементов в активной форме с целью восполнения их дефицита в рабочих поверхностях материала инструмента, для чего могут служить продукты превращения СОТС.

Большая часть механической энергии, затрачиваемой на реза-

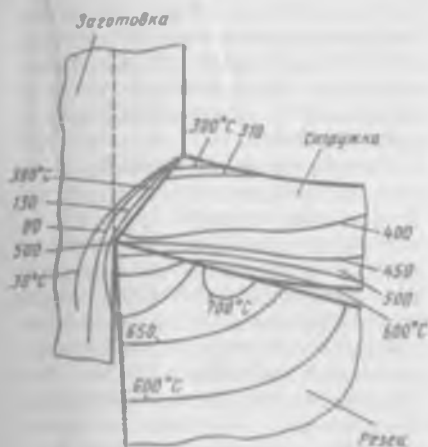


Рис. 4. Температурное поле в зоне резания (скорость резания 60 м/мин; глубина резания 0,32 мм; угол резания 10°)

ние металла, превращается в тепловую. Наиболее интенсивно этот процесс протекает в зонах пластической деформации материала заготовки и трения рабочих поверхностей инструмента и приводит к значительному увеличению температуры. На рис. 4 показано температурное поле в зоне резания. Температуры, развиваемые на трущихся поверхностях, значительно выше температур в зоне пластической деформации материала заготовки.

Рост температуры оказывает как положительное, так и отрицательное влияние на процесс резания. Положительными факторами являются уменьшение сдвигового сопротивления при пластической деформации материала заготовки и увеличение скорости диффузии примесных атомов и вероятности перехода в область пластического течения при образовании эвтектических фаз, а от-

рицательными — ускорение диффузионного и усталостно-адгезионного изнашивания инструмента.

2. ДЕЙСТВИЕ СОТС

Цель применения СОТС — снижение изнашивания режущего инструмента, улучшение качества обрабатываемой поверхности и повышение производительности труда. Достичь этого можно направленным воздействием на элементарные физико-механические и механохимические процессы, протекающие при резании металла, путем надлежащего выбора основы СОТС (вода, минеральные масла и т. п.), введения в СОТС присадок с необходимым комплексом химических и механохимических свойств, регулирования условий подачи СОТС в зону резания и т. д.

Охлаждающий эффект. В большинстве случаев охлаждение снижает изнашивание режущего инструмента и улучшает качество обрабатываемой поверхности. Этот эффект в чистом виде используется в некоторых технологических процессах, где в качестве охлаждающего агента применяют холодный воздух или углекислый газ.

На прямые охлаждающие характеристики СОТС оказывают существенное влияние не только теплоемкость и теплопроводность, но и способность СОТС к смачиванию металлических поверхностей и парообразованию, так как при высоких скоростях резания и температурах жидкость может не входить в непосредственный контакт с поверхностью инструмента вследствие низкой смачиваемости или образования паровой подушки. По этой при-

чине не наблюдается прямой зависимости между теплофизическими свойствами СОТС и ее охлаждающей способностью.

Однако не всегда охлаждение приводит к положительному эффекту. Например, при использовании СОТС на основе минерального масла и водной эмульсии оказалось, что число отверстий, которые можно просверлить сверлом до его затупления, в первом случае на порядок больше, чем во втором, хотя температура при этом соответственно равна 280 и 101 °С. Иногда с целью создания условий горячей обработки металлов температуру в зоне резания специально увеличивают с помощью внешних источников теплоты.

Но в большинстве случаев улучшение охлаждающих характеристик СОТС является желательным. Очевидный способ увеличения охлаждающей способности СОТС — перевод ее на водную основу, т. е. создание СОТС в виде истинных водных растворов — синтетических СОТС.

Трудности возникают при введении в водный раствор молекулярных фрагментов, в большинстве своем гидрофобных, способных обеспечить противоизносные, противозадирные, антифрикционные и другие функциональные свойства. Трудности устраняются, в частности, химической прививкой таких гидрофобных фрагментов к водорастворимым молекулам, например к цепи полимера окиси этилена. Добавление в СОТС соответствующих поверхностно-активных веществ (ПАВ) может заметно улучшить смачиваемость и повысить охлаждающую способность среды.

Эффективность охлаждения зо-

ны резания может быть увеличена модификацией способов подачи СОТС, например охлаждением туманом, воздействием ультразвука или высоконапорным подводом СОТС.

Гидродинамическая смазка. При этом виде смазки происходит снижение силы трения за счет разделения трущихся поверхностей жидкой пленкой. В зоне резания при нагрузках $\sim 10^2$ МПа и выше и температурах, достигающих нескольких сотен градусов Цельсия, расчетные толщины жидких пленок для обычных ньютоновских жидкостей с вязкостью менее $0,01 \text{ Н} \cdot \text{с}/\text{м}^2$ в 10^6 — 10^8 раз меньше средней высоты микронеровностей на трущихся поверхностях. Поэтому допустим вывод о незначительной роли гидродинамической смазки в условиях резания. Но гидродинамическая смазка действует в области упругопластического контакта и может играть существенную роль, например, в снижении сил трения направляющих при глубоком сверлении и т. п.

Реологические эффекты. Большинство жидкостей, используемых в качестве СОТС, относятся к классу неньютоновских упруговязких сред, и, следовательно, их эффективные (неньютоновские) вязкости являются функциями напряжений и скоростей сдвиговой деформации. Поэтому в любой практической операции резания эффективная вязкость жидкости по мере ее продвижения к режущей кромке (переход по линии FC в направлении точки C на рис. 2) возрастает как в результате увеличения скорости деформации сдвига, так и вследствие увеличения гидростатического давления. Резкое увеличение эффективной

вязкости в этих условиях может автоматически поддерживать реологическое разделение трущихся поверхностей, несмотря на чрезвычайное возрастание нормального напряжения. Проникновение жидкой основы СОТС в зону, находящуюся в непосредственной близости от режущей кромки, маловероятно. Однако разделение трущихся поверхностей в результате действия реологических эффектов в местах, куда СОТС все же проникает, снижает силы трения и, как следствие, уменьшает разогрев и изнашивание инструмента.

Жидкости, ведущие себя при умеренных нагрузках как ньютоновские, в экстремальных условиях могут превратиться в неньютоновские и функционировать, как СОТС, по реологическому механизму. Возможно и обратное превращение. Применяющиеся в качестве СОТС растворы полимеров, которые обладают явно выраженными упруговязкими свойствами, иногда в экстремальных условиях могут вести себя как ньютоновские жидкости вследствие быстрого падения молекулярной массы макромолекул, обусловленного их деструкцией.

Граничная смазка. Такой вид смазки обусловлен действием адсорбционно или химически связанной с трущейся поверхностью пленки, толщина которой колеблется от нескольких десятков до нескольких сотен нанометров и сопротивление сдвигу которой выше, чем для жидких пленок гидродинамической смазки.

Типичная граничная смазка — это смазка пленкой, образующейся в результате химического воздействия стеариновой кислоты с чистой металлической поверх-

ностью, причем продуктами реакции являются твердофазные мыла, молекулы которых химически «привиты» к поверхности, а длинные *n*-парафиновые цепи кислотных остатков расположены перпендикулярно к поверхности и образуют плотноупакованные пачки в виде молекулярного ворса.

В механизме действия граничной смазки можно выделить:

хемосорбцию активных соединений с образованием на непрерывно возобновляющихся ювенильных поверхностях контртел граничной пленки; хемосорбция приводит к пассивации этих поверхностей, в результате которой последние не имеют возможности войти в адгезионный контакт друг с другом и образовать металлические связи («мостики сварки»); пассивация снижает усталостно-адгезионное и диффузионное изнашивание;

появление между двумя металлическими поверхностями слоя с более низким, чем у металла, сдвиговым сопротивлением, что переводит процесс трения в область пластического контакта при гораздо более низком нормальном напряжении и снижает коэффициент трения (по сравнению с коэффициентом для чистой металлической пары) во столько раз, во сколько раз напряжение сдвига пленки меньше напряжения сдвига более мягкого металла пары;

релаксацию сдвиговых напряжений по границе между пленками или в самой пленке, которая снижает непосредственное воздействие на поверхностные слои металлической пары и уменьшает вероятность усталостного разрушения и изнашивания поверхности. Вполне возможно, что все

перечисленные механизмы граничной смазки действуют одновременно.

Свойства граничной смазки, зависящие от сопротивления сдвиговым деформациям в твердой пленке, силы ее адгезионного сцепления с металлической подложкой и фрикционных свойств ее поверхности, определяются строением и молекулярной структурой соединений, входящих в ее состав, и прежде всего молекулярной массой и степенью разветвления цепей, природой и числом функциональных групп (сложноэфирных, карбоксильных, гидроксильных и т. п.), кристаллической и надмолекулярной структурой, степенью кристалличности и т. д.

Пассивация ювенильной поверхности. Этот механизм можно рассматривать как частный случай граничной смазки, когда толщина пленки не превышает несколько десятков нанометров. Основной эффект пассивации — предотвращение образования металлических связей («мостиков сварки») между контактирующими поверхностями инструмента и заготовки, приводящих к усиленному адгезионному и диффузионному изнашиванию инструмента. Пассивация происходит в результате реакции активных компонентов физико-химической плазмы с непрерывно образующимися в процессе резания ювенильными поверхностями инструмента, стружки и заготовки. Плазма возникает в зоне резания в ходе пиролизических превращений, механической и радиационной деструкции исходных соединений, входящих в состав СОТС при температуре 500—700 °С, в вакууме или в присутствии кислорода воздуха, в условиях высоких сдвиговых напряже-

ний и экзoeлектронной эмиссии. Компонентами химической плазмы являются молекулы, ионы, радикалы и ион-радикалы в основном и возбужденном состоянии. Образование радикальных форм происходит также в результате реакции передачи радикала на молекулу и ион при их взаимодействии с ювенильной поверхностью.

Ввиду высокой проникающей способности плазмы по сравнению с жидкостью механизм пассивации приобретает наибольшее значение в области пластического контакта, находящейся в непосредственной близости от режущей кромки, т. е. в тех местах, куда затруднено проникновение жидкости и где образование жидких пленок маловероятно. Пассивация замедляет, но не предотвращает усталостно-адгезионное изнашивание и полностью приостанавливает диффузионное изнашивание.

Активные частицы плазмы могут попадать на ювенильную поверхность из прилегающих микрообъемов газовой фазы или «переползать» на нее путем поверхностной диффузии с поверхностей реза, стружки и заготовки.

Например, при скорости резания $v = 30$ м/мин = 50 см/с и длине режущей кромки реза 0,1 см образуется $5 \text{ см}^2/\text{с}$ ювенильной поверхности, содержащей $\sim 10^{15}$ разорванных связей на 1 см^2 ; тогда скорость образования подлежащих пассивации свободных валентностей (вал.) $\dot{W} = 10^{16}$ вал/с. По кинетической теории газов для пассивации такого числа свободных валентностей за счет ударов активных частиц из газовой фазы потребовалось бы (при 800 °С) $10^{11} - 10^{12}$ частиц/см² ($p \approx 10^{-3} - 10^{-2}$ Па).

Необходимый поток активных компонентов физико-химической плазмы со скоростью $dn/dr \geq W$ (n — число частиц) поступает через узкие зазоры между резцом и стружкой, резцом и заготовкой со стороны боковой поверхности резца (см. рис. 4). При этом следует принимать во внимание диффузию через газовую фазу, поверхностную диффузию и натекания в результате разрежения, возникающего на участке $H-F$ (см. рис. 2) при отрыве материала стружки и детали от поверхности инструмента. В последнем случае образуется поверхность раздела твердое тело — газ.

Несмотря на большие коэффициенты газовой диффузии ($D_r \geq 1 \text{ см}^2/\text{с}$ при 400—700 °C) из-за малых сечений зазоров [10^{-4} — 10^{-5} см^2] даже с учетом их расширения вследствие вибрации величина потока dn/dt мала.

Для достижения требуемых диффузионных потоков ($dn/dt \geq W$) необходимо создание очень больших входных концентраций активных частиц ($\leq 10^{19}$ частиц/ см^3), что практически реализовать весьма трудно.

Величина диффузионного потока по поверхности зависит не от сечения, а от линейного размера (ширины) зазора l , который достаточно велик ($l \geq 0,1 \div 1 \text{ см}$), и от градиента поверхностной концентрации диффундирующих частиц в адсорбционном слое. При высокой адсорбируемости активных частиц градиенты могут достигать значений $\sim 10^{15}$ частиц/ $(\text{см}^2 \times \text{см})$, что, однако, маловероятно при температурах зоны резания (см. рис. 4).

При разности давлений на входе и выходе щели 0,1 МПа поток

равен 10^{17} молекул/с.

Необходимый поток активных частиц может быть достигнут при парциальном давлении продуктов на входе щели $\sim 0,01$ МПа, что следует из расчета по формуле Кнудсена для натекания в вакуум из атмосферы через щель высотой 3 мкм и длиной 0,1—0,3 см.

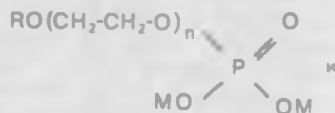
Любой вид воздействия (ультразвук, наложение разности потенциалов и т. д.) на скорость диффузии активных продуктов в зону пластической деформации металла, а также увеличение зазоров, коэффициентов газофазной и поверхностной диффузии, входной концентрации активных частиц будут способствовать снижению износа режущего инструмента и росту интенсификации режимов обработки.

Смазка высокого давления. Этот вид смазки действует при введении в состав СОТС противозносных и противозадирных присадок, представляющих собой соединения Cl, F, S, P или Pb. В основе эффекта смазки высокого давления лежит направленное воздействие на процесс пластической деформации с целью снижения сдвигового сопротивления в зоне контакта трущихся поверхностей. В результате ряда химических превращений в зоне контакта трущихся поверхностей атомы перечисленных элементов, входящих в состав присадок, реагируют с поверхностью металла, а затем в условиях высоких гидростатических давлений, температур и градиентов напряжений диффундируют в поверхностные слои металлической пары, образуя слои эвтектических сплавов с более низкими сдвиговыми сопротивлениями и температурами плавления.

БИБЛИОГРАФИЯ

Для повышения эффективности противоизносных и противозадирных присадок необходимо создать смесь исходных компонентов, которая с учетом сложных температурных и силовых градиентов, а также разных скоростей поверхностной и объемной диффузии приводит к образованию в соответствующем месте зоны резания эвтектической композиции. В некоторых случаях необходимое сочетание элементов, например Cl, S, P, удается выдерживать в пределах одной молекулы.

Большинство противоизносных и противозадириных присадок являются гидрофобными соединениями и поэтому могут входить в состав лишь масляных СОТС или эмульсий, что ограничивает возможность их применения. Однако с помощью метода этоксилирования (химической прививки водорастворимых полиоксиэтиленовых цепей к действующей основе присадки) можно ввести в водный раствор практически любое химическое соединение. Примером высокоэффективных водорастворимых противоизносных и противозадириных присадок могут служить эфиры фосфорной кислоты:

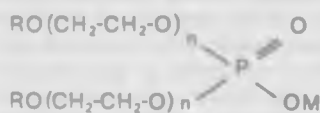


Здесь R—алкильные или алкиларильные радикалы; M—H, Na или амины; n—число звеньев в полиоксиэтиленовой цепи.

Многокомпонентные твердотопливные СОТС. Действие этой группы смазочных материалов основано на сочетании принципов граничной смазки и смазки высо-

кого давления. Базовой жидкостью в таких СОТС являются мономерные или олигомерные соединения, которые, попадая в зону резания, полимеризуются или поликонденсируются (вулканизуются), образуя на контактирующих поверхностях сухую, плотно прилегающую пленку. На основе базовой жидкости готовится суспензия тонко диспергированных одного или нескольких компонентов: графита, политетрафторэтилена, найлона-11, MoS₂, тиаантимонатов металлов, металлических сплавов, неорганических солей, окислов металлов и т. д. При резании металла с использованием такой СОТС на поверхности инструмента образуется и непрерывно возобновляется твердая полимерная пленка, наполненная тонко диспергированными антифрикционными и противоизносными присадками, в частности присадками высокого давления.

Применение этого вида СОТС позволяет эффективно снизить изнашивание инструмента путем удачного сочетания двух механизмов смазки и значительно улучшить качество обрабатываемой поверхности, а в случае приме-



ния MoS₂, CF или политетрафторэтилена—резко улучшить антифрикционные свойства поверхности детали.

Эффект Ребиндера. Образование новой поверхности при пластической деформации или разрушении металла предваряется разрывом

металлических связей с большими энергизатратами. Адсорбция и хемосорбция молекул из газовой и жидкой фаз на вновь образующихся поверхностях в момент их зарождения снижает свободную поверхностную энергию, уменьшая тем самым сопротивление сдвигу.

Пластифицирующее действие среды в процессе резания металла является положительным фактором: во-первых, облегчается развитие пластической деформации в зоне перехода материала заготовки в стружку (зона *ABCDE*, см. рис. 1); во-вторых, условия пластического контакта инструмента с заготовкой и стружкой достигаются при меньших нормальных напряжениях ввиду снижения предела текучести σ_t в пятнах контакта [см. формулу (1)]; в-третьих, уменьшается сопротивление сдвигу при пластической деформации выступающих микронеровностей на поверхности контактирующих тел, а следовательно, и сила трения. Все эти факторы способствуют снижению сил резания и изнашивания инструментов.

Снижение диффузионного изнашивания. Перманентная карбонизация. Резание металла сопровождается диффузией углерода из слоев материала инструмента, примыкающих к рабочим поверхностям, в заготовку и стружку при наличии между трущимися поверхностями адгезионного контакта. Этот процесс приводит к снижению содержания цементита вблизи рабочих поверхностей инструмента, а следовательно, к его разупрочнению. Уменьшение содержания карбидов в поверхностных слоях режущей кромки инструмента в ходе резания наблюда-

ется методом оже-спектроскопии. Поскольку интенсивность пика в оже-спектре пропорциональна поверхностной концентрации соответствующего этому пику элемента, для получения распределения элементов по глубине используют методику аргонного травления (облучение ионами Ar^+ с энергией порядка нескольких килоэлектрон-вольт), в процессе которого с поверхности образца удаляются слои, толщина которых пропорциональна времени травления. Результаты измерения интенсивности пика углерода (273 эВ), полученные в зависимости от времени травления, представлены на рис. 5. Кривая 1 описывает распределение концентрации углерода по глубине вблизи режущей кромки свежезаточенного сверла из быстрорежущей

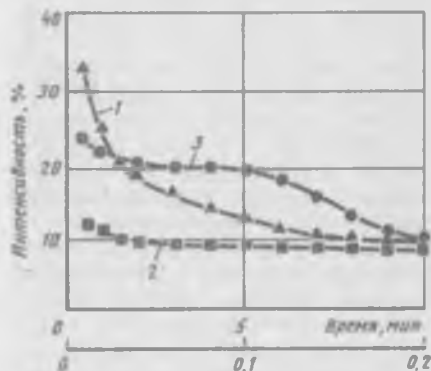


Рис. 5. Зависимость интенсивности пика углерода (273 эВ) от продолжительности аргонного травления в оже-спектрах режущей кромки (2,5 мм от оси) свежезаточенного сверла (1), а также сверла после 1 мин травления в среде дистиллированной воды (2) и 1%-ного водного раствора динатрий малацата (3) (частота вращения сверла 280 мин⁻¹; подача 0,067 мм/об; заготовка — сталь. 40Х; сверло — Ø6 мм, сталь Р6М5К5)

стали, кривая 2—распределение после сверления с использованием в качестве СОТС дистиллированной воды. В процессе резания концентрация углерода в слоях, расположенных на глубине до 0,1 мкм, падает в 1,5—3 раза. Тонкая структура оже-спектра указывает на одновременное снижение концентрации как цементита, так и карбидов легирующих добавок, входящих в быстрорежущую сталь: W, Cr, Mo, Co и смешанных карбидов типа Fe_2W_2C , Fe_2Mo_2C и т. д. Естественно, что такое резкое падение содержания карбидов металлов в инструментальной стали отрицательно сказывается на прочностных и противозносных характеристиках инструмента.

Добавление в технологическую среду некоторых органических соединений существенно затормаживает процесс диффузионного уноса углерода из поверхностных слоев режущей кромки. Более того, применение в качестве СОТС водных растворов двухосновных карбоновых кислот может резко изменить картину диффузии атомов углерода вблизи режущей кромки инструмента. Кривая 3 (см. рис. 5) описывает распределение концентрации углерода по глубине вблизи режущей кромки сверла в точно воспроизведенных условиях опыта, соответствующих кривой 2, с тем лишь различием, что в качестве СОТС использовался 1%-ный водный раствор динатриевой соли малеиновой кислоты. Концентрация углерода в этих условиях не только не снизилась, но и возросла по сравнению с исходной приблизительно в 2 раза на глубинах до 0,1 мкм.

Анализ тонкой структуры оже-спектра показал приблизительно

пропорциональное увеличение концентрации всех карбидов исходной быстрорежущей стали.

Таким образом, в результате сложной цепи пиролитических превращений присадки на границе зоны пластического контакта непрерывно образуется углерод в активной форме, который, внедряясь в поверхностные слои режущей кромки, не только предотвращает ее диффузионное изнашивание, но и способствует ее упрочнению вследствие роста концентрации в ней карбидов железа и легирующих добавок.

Наводороживание. Особое место в ряду явлений, сопровождающих резание металла в водородсодержащих средах, занимает процесс переноса водорода в поверхностные слои обрабатываемого материала и стружки. Обычно проникновение водорода регистрируется либо прямо по содержанию гидридов металлов в поверхностном слое, либо косвенно по газовой делению из образца при его нагреве. В последнем случае для обнаружения водорода среди прочих применяется метод температурно-программируемого нагрева (ТПН) образца, помещенного в вакуумный объем, с одновременной масс-спектрометрической регистрацией выделяющегося водорода.

Как правило, кривая (спектр ТПН) имеет один или несколько пиков колоколообразной формы с максимумами, соответствующими температуре выхода водорода различного «происхождения». Положение максимумов на кривой, так же как и форма пиков, отражает сложный процесс, протекающий в условиях линейного подъема температуры, основными составляющими которого явля-

ются диффузия атомов водорода в металле, их выход и рекомбинация на поверхности с выделением молекулярного водорода. Очевидно, что распределение водорода по глубине образца до начала подъема температуры так же, как и характерный размер последнего, сказывается на форме и положении пиков.

На рис. 6 приведены кривые ТПН стружек, полученных при сверлении в эмульсиях вазелинового масла в H_2O и D_2O , а также — для сравнения — спектр для стружек, полученных при сверлении в воде. Масс-спектрометр настраивался на регистрацию как H_2 , так и D_2 . На рисунке видно, во-первых, что из двух пиков, наблюдаемых в спектре эмульсии, низкотемпературный относится к водороду, поглощаемому металлом из воды, а высокотемпературный — к водороду из органического компонента. Об этом говорит тот факт, что при сверлении в эмульсии вазелинового масла в D_2O высокотемпературный пик представлен в основном H_2 , а низкотемпературный — D_2 . Наличие одновременно двух пиков в спектре указывает на то, что в материал стружки аддитивно входят области двух типов. Область первого типа возникает в результате резания в среде воды, а второго — в углеводороде. Во-вторых, при добавлении в воду эмульгатора резко возрастает пик, соответствующий водороду, образующемуся из воды. Эмульсия способствует проникновению в металл большого количества водорода из воды. Возможно, что именно этот факт напрямую связан с большей эффективностью эмульсий в качестве смазочно-охлаждающих жидко-

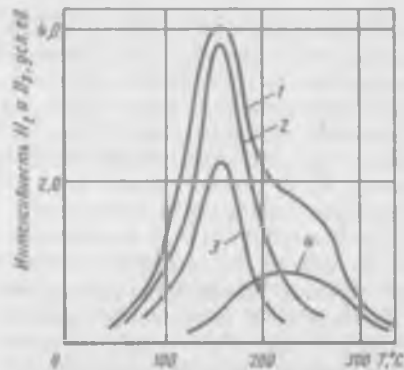


Рис. 6. Спектры ТПН стружек, образующихся при сверлении стали 40Х сверлом (сталь Р6М5К5; $\varnothing 6$ мм) в различных средах: 1 — вазелиновое масло + H_2O (эмульсия; пик H_2); 2 — вазелиновое масло + D_2O (эмульсия; пик D_2); 3 — H_2O (пик H_2); 4 — вазелиновое масло + D_2O (эмульсия; пик H_2)

стей (СОЖ).

В общих чертах механизм проникновения водорода в металл при резании может быть представлен в следующем виде. В ходе пластической деформации непрерывно образуется ювенильная поверхность металла, с которой реагируют молекулы среды. Реакция с чистым железом таких водородсодержащих молекул, как вода, предельные и непредельные углеводороды, спирты и кетоны, сопровождается их дегидрогенизацией и появлением на поверхности химически связанных с ней атомов водорода. Для перехода атомов водорода из поверхностного состояния в объем требуется преодолеть высокий активационный барьер, причем сам переход эндотермичен ($\Delta H > 0$). Поскольку при переходе водорода с поверхности в объем происходит рост энтропии ($\Delta S > 0$), весь процесс становится термодинамически вы-

годным: $\Delta G = \Delta H - T\Delta S < 0$. Как следствие, процесс проникновения водорода внутрь железа протекает с заметными скоростями и на большие глубины лишь при достаточно высоких температурах металла и значительных концентрациях (давлениях) водорода.

Температура стружки в момент ее отделения от заготовки обычно не превышает 600—700 °С. При такой температуре скорость диффузии водорода в железе, так же как и парциальное давление водорода вблизи поверхности, слишком мала, чтобы он успел проникнуть достаточно глубоко в поверхностные слои металла. Действительно, характерная глубина проникновения водорода R может быть оценена по формуле $R^2 \sim Dt$, где D — коэффициент диффузии; t — время контакта, в течение которого протекает пластическая деформация, $t = l/v$ (здесь v — скорость резания; l — характерный размер области физического контакта режущего инструмента и обрабатываемого материала). Обычно $l = 1$ мм и $v = 0,1$ м/с, что соответствует времени контакта $\sim 10^{-2}$ с. Коэффициент диффузии водорода в металлах ограничен величиной 10^{-4} см²/с. Таким образом, даже по сильно завышенной оценке, глубина проникновения водорода не может превышать 10^{-3} см. Поскольку водород в глубь металла в условиях резания проникает на глубины порядка нескольких мил-

лиметров остается допустить, что высокая скорость переноса водорода в поверхностные слои в ходе пластического течения может быть обусловлена резким возрастанием эффективного коэффициента диффузии в результате многократного «разогрева» именно тех степеней свободы в кристаллической решетке, которые более всего ответственны за перенос водорода.

Наводороживание металлов, в частности железа и его сплавов, как известно, существенно сказывается на физико-механических свойствах. В связи с этим проникновение водорода в металл в процессе его резания является важнейшим компонентом сложного механохимического процесса, влияющим как на сам процесс резания, так и на износостойкость режущего инструмента и эффективность СОЖ.

Список литературы

1. Армарео И. Дж., Браун Р. Х. Обработка металлов резанием: Пер. с англ. М.: Машиностроение, 1977. 325 с.
2. Костецкий Б. И., Носовский И. Г., Караулов А. К. Поверхностная прочность материалов при трении. Киев. Техника, 1976. 292 с.
3. Крагельский И. В., Добычин М. Н., Комблялов В. С. Основы расчетов на трение и износ. М.: Машиностроение, 1977. 552 с.
4. Старков В. К. Дислокационные представления о резании металлов. М.: Машиностроение, 1979. 216 с.

Глава II. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА СОТС И МЕТОДЫ ИХ КОНТРОЛЯ

СОТС оказывает влияние на процесс резания через свои функциональные свойства: смазочные, режущие (пластифицирующие), охлаждающие, моющие и др. Оценить эти свойства можно двумя принципиально различными способами: прямым, т. е. непосредственно в процессе обработки заготовок на металлорежущих станках, и косвенным, на приборах и установках, позволяющих без снятия стружки моделировать процессы, происходящие в зоне резания. Проведение достоверных испытаний функциональных свойств СОТС является важным этапом разработки и направленного выбора высокоэффективных составов. Подбор компонентов СОТС по химическому составу, физико-химическим и функциональным свойствам позволяет значительно ускорить внедрение новых разработок, сократить трудовые и материальные затраты. Наиболее полную информацию о функциональных свойствах СОТС и их технологической эффективности можно получить при исследовании СОТС в процессе резания на тех типах станков, на которых предполагается их использование. Однако результаты испытаний СОТС при обработке металлов резанием зависят от большого количества трудноучитываемых факторов, например ка-

чества изготовления, заточки и степени затупления инструмента.

Испытания СОТС на лабораторных машинах и приборах — машинах трения, микротвердомерах, разрывных машинах — обеспечивают высокую стабильность и воспроизводимость результатов экспериментов. Их недостаток состоит в том, что они не в полной мере отражают сущность физико-химических, механических и других процессов, происходящих в зоне резания.

1. СМАЗЫВАЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ СОТС

Смазывающее действие СОТС состоит в уменьшении схватывания, трения, задира, изнашивания и фрикционного нагрева контактирующих поверхностей инструмента и заготовки. Оно происходит в результате уменьшения количества и прочности адгезионных связей между инструментом и заготовкой, образования граничных пленок, экранирующих контакт между поверхностями. При повышении значений смазочных характеристик СОТС улучшаются почти все параметры обработки:

увеличивается стойкость инструмента вследствие уменьшения износа и задира лезвийного инструмента, засаливания алмазно-абразивного инструмента;

возрастает производительность обработки;

уменьшается шероховатость и волнистость обработанной поверхности, снижаются остаточные напряжения вследствие лучшего экранирования трущихся поверхностей, локализации сдвиговых деформаций, снижения интенсивности адгезионных явлений;

стабилизируется процесс наростообразования, уменьшаются размер нароста, прочность и сила его сцепления с инструментом;

снижаются фрикционный нагрев и температура в зоне резания, силы трения и расход энергии.

Улучшение противозадирных свойств СОТС повышает их способность предотвращать сваривание инструментального и обрабатываемого материалов, позволяет избежать налипов на режущем инструменте, уменьшает количество микровыступов, на которых происходит сваривание и повреждение поверхности. Улучшение смазочных свойств СОТС практически не влияет на средние контактные касательные напряжения на передней поверхности резца и увеличивает средние нормальные напряжения вследствие уменьшения площади контакта стружки с инструментом.

При лезвийной обработке эффективные СОТС уменьшают площадь контакта стружки с передней поверхностью. Увеличение смазывающего действия СОТС может иметь и отрицательные последствия:

стойкость инструмента уменьшается при повышенном коррозионно-механическом изнашивании режущих кромок или при ликвидации нароста, предохраняющего рабочие площадки инструмента от износа;

возрастают силы резания при обработке металлов, граничные пленки которых имеют более высокую прочность, чем металл заготовки (например, силы резания при обработке алюминия, свинца, меди резцами из быстрорежущей стали на воздухе больше, чем в вакууме);

снижается производительность алмазно-абразивной обработки при недостаточной жесткости технологической системы, например при внутреннем шлифовании и суперфинишировании, вследствие увеличения количества зерен, скользящих по обрабатываемой поверхности и не участвующих в процессе резания.

Повышение скорости резания и подачи уменьшает влияние смазывающих свойств СОТС на выходные параметры обработки, так как ухудшаются условия проникновения СОТС в зону контакта инструментального и обрабатываемого материала и не успевают образоваться граничные пленки. В соответствии с двойственной природой трения — молекулярной и механической — силу трения обычно рассчитывают на основе двучленного закона

$$F_T = F_d + F_{mo}, \quad (1)$$

где F_d и F_{mo} — соответственно деформационная и молекулярная (адгезионная) составляющие силы трения.

Если между контактирующими поверхностями металла нет непрерывной граничной пленки, то согласно формуле Боудена и Тейбора

$$F_T = F_m \alpha + F_c (1 - \alpha), \quad (2)$$

где F_m — сила трения на поверхностях контакта инструментального и обрабатываемого матери-

алов (без граничной смазки); α — доля от общей поверхности, на которой осуществляется металлический контакт; F_c — сила трения на площадках контакта с граничной пленкой.

При образовании нароста на рабочих поверхностях инструмента, обладающего более высокой твердостью, чем обрабатываемый материал, он внедряется в обработанную поверхность и опорную поверхность стружки и создает дополнительную силу пропахивания $F_{пр}$. Таким образом, в условиях наростообразования сила трения будет определяться по формуле

$$F_t = F_m \alpha + F_c (1 - \alpha) + F_{пр}. \quad (3)$$

Доля контактирующих поверхностей обрабатываемого и инструментального материалов, между которыми образуются металлические связи, определяется отношением скоростей образования и разрушения граничной пленки, возможностью проникновения и адсорбции молекул СОТС и окружающей среды в зону контакта. Когда α достигает критического значения, происходит схватывание площадок (образование «мостиков сварки», которое может привести к вырывам и разрушению контактирующих поверхностей).

Механизм смазывающего действия СОТС. Смазывающее действие СОТС осуществляется вследствие уменьшения реакционной способности образуемых в процессе резания ювенильных поверхностей; снижения количества и прочности адгезионных связей между контактирующими поверхностями; образования граничной пленки, защищающей обрабатываемый и инструментальный ма-

териалы от физико-химической и механической деструкции; уменьшения площади (длины) контакта стружки с передней поверхностью инструмента.

В процессе резания образуются физически чистые ювенильные поверхности, обладающие большой химической активностью, которая обусловлена наличием у поверхностных атомов нескомпенсированных связей. Механическая и термическая активация поверхностного слоя сопровождается высвобождением валентных связей и появлением на контактирующих поверхностях инструмента и заготовки активных центров. Пластические деформации обрабатываемого и инструментального материалов способствуют сближению взаимодействующих атомов. Электронный обмен между атомами приводит к образованию адгезионных связей между контактирующими материалами, изменяет свойства поверхностных слоев металла. В свою очередь, силовое поле металла изменяет свойства СОТС. Образование прочных металлических связей между инструментом и заготовкой ухудшает качество поверхностного слоя заготовки, приводит к распространению пластического течения в глубь материала, увеличивает адгезионно-усталостный износ инструмента, который на несколько порядков больше интенсивности изнашивания поверхностей в обычных узлах трения.

Адсорбция атомов, молекул СОТС и окружающей среды, их фрагментов на вновь образованных поверхностях изменяет процессы адгезии и когезии. В зависимости от условий обработки граничные пленки могут состоять из

непрерывных монослоев адсорбированной среды, из фрагментов этих монослоев или из нескольких слоев. Основные изменения в количестве и прочности адгезионных связей имеют место при заполнении монослоев или при более разряженных, чем монослои, покрытиях. С увеличением дипольного момента молекул ПАВ возрастает их влияние на энергетическое состояние поверхности. Если при взаимодействии ПАВ с металлом происходит уменьшение работы выхода электронов, то пластичность металла возрастает. Увеличение работы выхода электронов, наоборот, приводит к образованию пленок высокой твердости.

В зависимости от полярности и механизма действия ПАВ могут быть по отношению к металлу донорами или акцепторами электронов. Электронно-донорно-акцепторное взаимодействие удерживает воду на поверхности металла, связывая его с первым мономолекулярным слоем воды через пару электронов кислорода или путем водородной связи. Ювенильные поверхности инструмента и заготовки генерируют электроны и кванты света (эффект Крамера), которые бомбардируют молекулы СОЖ (вода, углеводороды, кислород, галоиды), что приводит к образованию свободных атомов и химически активных частиц — радикалов, являющихся инициаторами цепных реакций.

Образование активных радикалов и свободных атомов, обладающих высокой реакционной способностью, происходит также в результате термической и механической деструкции компонентов СОЖ. Эмиссия электронов

с ювенильной поверхности металла приводит к образованию около нее двойного электрического слоя: вблизи поверхности создается отрицательно заряженный слой, а тончайший поверхностный слой заряжается положительно. Молекулы СОЖ взаимодействуют с двойным электрическим слоем, образуя поверхностные соединения. Энергия связи компонентов СОТС с металлом может изменяться в широких пределах в зависимости от характера поверхностных процессов: имеет ли место физическая адсорбция или химическая реакция. При физической адсорбции полярные группы молекул удерживаются на поверхности слабыми Ван-дер-Ваальсовыми силами, обусловленными взаимодействием электромагнитных полей между атомами и молекулами СОТС и твердого тела. Индустриальное, касторовое, льняное масла, керосин, натуральные жиры экранируют контактирующие поверхности плотно упакованными адсорбционными слоями, состоящими из длинных углеводородных цепей, ориентированных перпендикулярно к поверхности твердого тела.

При химической адсорбции (хемосорбции) энергия адсорбции сравнима с молярной поверхностной энергией твердого тела. При хемосорбции происходит изменение структуры поверхностного слоя. Хемосорбционные пленки удерживаются на поверхности твердого тела химическими связями, которые намного прочнее физических. В образовании химических связей участвуют валентные электроны атомов. Для физической адсорбции энергия взаимодействия молекулы с поверхностью, т. е. теплота адсорбции,

находится в пределах 8000—42 000 Вт/моль, для хемосорбции — 42 000—420 000 Вт/моль.

Для протекания процесса химической адсорбции необходима соответствующая свободная энергия. После формирования мономолекулярного слоя возможна лишь физическая адсорбция данного компонента СОЖ или его химическое взаимодействие с поверхностью металла. Хемосорбция отличается от химической реакции тем, что она обратима. Хемосорбция часто протекает с образованием связи между поверхностью металла и одним из элементов молекулы СОЖ. При этом внутримолекулярные связи могут сохраняться или распадаться. В последнем случае образуются свободные атомы и радикалы.

При контакте свежесформированных поверхностей металла с такими широко используемыми в СОЖ элементами, как кислород, сера, хлор, йод, происходят экзотермические (с выделением теплоты) реакции.

Пассивация активированных металлических поверхностей за счет взаимодействия с СОЖ и компонентами окружающей среды уменьшает адгезионно-диффузионные процессы. Образующиеся граничные пленки снижают не только адгезионные, но и диффузионные процессы изнашивания инструмента. Трибологические процессы в значительной степени определяются температурой контакта. Различают две переходные критические температуры: при первой происходит дезориентация и десорбция молекул граничной смазки, при второй разрушаются химически модифицированные слои и происходят интенсивное схватывание, изнашивание и раз-

1. Максимальная температура T_c работоспособности компонентов СОЖ [20]

Компоненты СОЖ	Температура T_c , °С
Растительные масла	130
Животные жиры	130
Синтетические вещества	200
Свободная сера	1000
Присадки:	
хлорсодержащие	500
фосфорсодержащие	800
серосодержащие	900

рушение контактирующих поверхностей. Максимальная (критическая) температура T_c , при которой сохраняется работоспособность СОЖ, зависит от ее состава. Значения T_c для различных компонентов СОЖ приведены в табл. 1.

Сопоставление диапазона температур в зоне резания с T_c дает возможность правильно подобрать состав СОЖ.

При обработке ряда материалов интенсивные адгезионные процессы вызывают образование нароста в процессе резания. Применение активных сред (воды, четыреххлористого углерода) может привести к полной ликвидации нароста и копированию микрогеометрии режущей кромки на обработанной поверхности. Неэффективные среды интенсифицируют процессы схватывания и наростообразования, что приводит к многократному росту шероховатости по сравнению с той, какая имеется на режущей кромке. Применение воды полностью исключает наростообразование при резании стали 20Х со скоростью 0,75 м/мин и толщине среза 0,1—0,3 мм. Применение в качестве СОЖ масла, олеиновой кислоты

или этилового спирта при тех же условиях обработки ослабило процесс наростообразования, но полностью его не исключило. Жидкости, инертные по отношению к обрабатываемому материалу, препятствуют проникновению кислорода воздуха в зону контакта, способствуют увеличению адгезии и нароста, ухудшают шероховатость обработанной поверхности. Для образования поверхностных пленок важен кислород. При резании в вакууме конструкционных и легированных сталей и сплавов недостаток кислорода интенсифицирует процессы схватывания, образования наливов и наростов. При точении в вакууме $5 \cdot 10^{-2}$ Па стали 40Х резцами из стали Р9К5 с главным углом в плане $\phi = 90^\circ$ при скорости резания 65 м/мин ($a \times b = 0,07 \times 0,5$ мм) интенсивность изнашивания возрастает в 4—7 раз. Главная составляющая силы резания P_z увеличивается на 20—30%, P_x — на 25—30%. Многократно возрастает амплитуда колебаний сил резания. Нарост, образуемый при резании в вакууме, отличается высокой прочностью и устойчивостью; он гораздо прочнее удерживается на резце. При точении стали 45 резцами из быстрорежущей стали при скорости резания 40—50 м/мин насыщение СОЖ кислородом повышает стойкость инструмента примерно в 2 раза. С увеличением скорости резания это различие уменьшается. Дегазация СОЖ (удаление кислорода воздуха) при нарезании резьбы уменьшает эффективность СОЖ примерно в 2 раза. Аналогично бензол при резании стали интенсифицирует адгезию вследствие его инертности к стали и ухуд-

шения доступа кислорода.

При физической адсорбции и хемосорбции на поверхности твердого тела образуются тонкие, часто мономолекулярные пленки. Например, адсорбированные молекулы стеариновой кислоты имеют высоту 1,9 нм. Анализ химического состава и структуры граничных пленок на металлической поверхности проводится с помощью электронно-эмиссионных методов диагностики поверхности: рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС), электронной оже-спектроскопии (ЭОС), по картинам дифракции медленных электронов (ДМЭ) и т. п.

В большинстве опубликованных работ по механизму действия СОТС предполагается, что механизм взаимодействия технологических сред, содержащих химически активные элементы, с металлической поверхностью при резании и трении тяжело нагруженных поверхностей аналогичен, т. е. в обоих случаях на вновь образуемых поверхностях происходят физическая и химическая адсорбция активных компонентов, их термодеструкция и химическое превращение или разложение, а на последней стадии — химическое взаимодействие атомов и радикалов СОТС с поверхностными слоями металла и образование модифицированных слоев с пониженным сопротивлением сдвигу. Активные компоненты СОТС, вызывающие значительное облегчение процесса резания и уменьшение износа инструмента (соединения серы, хлора), не образуют на обработанной поверхности толстых фазовых пленок и их соединений с железом. Их действие может заключаться в образовании хемоадсорбционного

слоя, вызывающего уменьшение адгезии инструмента к обработанной поверхности и опорной стороне стружки, адсорбционное понижение прочности обрабатываемого металла. Оже-анализ поверхности стальных образцов, обработанных резанием, показывает, что состав граничной пленки мало зависит от применяемой СОЖ (масляной, водной), наличия химически активных элементов. Обработанная поверхность металла содержит повышенное количество углерода, серы, хлора и кислорода. Она почти полностью окислена. В более глубоких поверхностных слоях содержание кислорода падает, возрастает количество железа. Результаты оже-анализа образцов, прошлифованных с применением серо- и хлорсодержащей эмульсии ИХП-45Э, показаны на рис. 1. Образцы из закаленной стали ШХ15 размером $5 \times 5 \times 5$ мм шлифовали на плоскошлифовальном станке 3Г71М в тисках за 10 проходов абразивным кругом 25A25HСМ26K5. Режим шлифования: скорость круга 35 м/с; вертикальная подача 0,01 мм/дв. ход; скорость продольного перемещения 10 м/мин. Для определения профиля концентрации элементов по глубине проводили распыление металла с поверхности образца с помощью ионной пушки. Изменение элементного состава на дне кратера, созданного пучком инертного газа — аргона, определяли оже-анализом по амплитуде оже-пиков. Скорость распыления составляла $\sim 0,5$ нм/мин. Оже-анализ на глубину в несколько атомных слоев выявил у всех образцов повышенное содержание углерода, кислорода, серы и хлора. Насыщение поверхности углеродом мо-

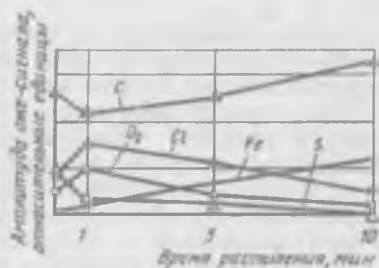


Рис. 1. Зависимость амплитуды оже-сигнала от времени распыления поверхности, шлифованной с эмульсией ИХП-45Э

жет происходить по следующим причинам: СОЖ содержит органические вещества, которые при высоких контактных нагрузках и температурах, возникающих при резании металлов, образуют свободные радикалы с высокой реакционной способностью атомов углерода к ювенильной поверхности металла; диффузией углерода из инструментального материала в обрабатываемый материал, активированной термомеханическими процессами при резании. При высокой скорости резания происходит аллотропическое превращение α -железа в γ -железо и карбиды частично растворяются в аустените. Течение контактных слоев обрабатываемого материала и стружки способствует резкому увеличению градиента на границе раздела фаз цементит — феррит.

Накопление кислорода в поверхностном слое свидетельствует об интенсивных окислительных процессах, происходящих при резании. Наличие окисных и углеродородных пленок способствует уменьшению сил трения и адгезионной составляющей между инструментом и заготовкой. Со-

держание элементов на поверхности изменялось в такой последовательности: больше всего углерода, затем кислород, сера, хлор и меньше всего железа. Количество углерода, кислорода, серы и хлора в приповерхностных слоях (через 5—10 мин травления) уменьшается в несколько раз, а процентное содержание железа резко возрастает. Таким образом, на глубине нескольких атомных слоев химический состав шлифованных образцов резко отличается от состава поверхности и основного металла.

Рентгеноспектральный микроанализ, проведенный на растровом электронном микроскопе с твердотельным энергодисперсным анализатором, показал, что на глубине нескольких микрометров химический состав шлифованных образцов соответствует ГОСТ 801—78 на сталь ШХ15.

Чтобы не вызвать коррозию детали, оснастки и оборудования, присадка, входящая в состав СОЖ, должна взаимодействовать с металлом только при повышенных температурах и давлениях, характерных для обработки металлов резанием. Присадка не должна вызывать повышенного коррозионно-механического изнашивания инструмента.

Для улучшения технологических показателей процесса обработки в СОЖ могут входить полимеры с различной молекулярной массой. Чем жестче режимы резания, тем большей радикалообразующей способностью обладают ювенильные поверхности. При термомеханодеструкции полимеров возникают радикально-цепные реакции и образуются граничные пленки, уменьшающие адгезию и изнашивание инструмента.

По характеру смазывающего действия присадки делят на группы: противозадириные, противоизносные, антифрикционные, анти-скачковые и др. В современных СОЖ наибольшее применение нашли присадки первых трех групп.

Методы оценки смазывающих свойств СОТС. Смазывающие свойства СОТС оценивают по трибологическим параметрам, характеризующим противоизносные, противозадириные и антифрикционные свойства смазочного материала, температурную стойкость граничных смазочных слоев.

Смазывающее действие СОТС в процессе обработки оценивают по величине силы резания, отношению ее составляющих, крутящему моменту и потребляемой мощности, по интенсивности изнашивания инструмента, по наличию нароста, наливов, вырывов и выхватов на контактирующих поверхностях инструмента и заготовки, по усадке стружки и площади (длине) контакта стружки с передней поверхностью инструмента, по температуре в зоне резания. Чтобы обеспечить более тяжелые условия работы инструмента, смазочную способность СОЖ для лезвийной обработки часто определяют при нарезании цилиндрической или конической резьбы. На результаты испытаний при резании влияют режущие, моющие, охлаждающие свойства СОТС, что затрудняет ранжирование СОТС по смазочным свойствам. Для оценки смазывающих свойств СОТС без резания применяют машины трения, маятниковые динамометры, микросклерометры. Для испытаний на таких приборах и установках требуется небольшое количество СОТС, что

крайне важно при разработке новых составов. Контактирующие элементы на машинах трения имеют простую геометрическую форму: шариков, роликов, цилиндров, дисков. Их изготавливают из одного или из разных материалов, что позволяет учесть особенности физико-химического взаимодействия СОТС с инструментальным и обрабатываемым материалами. Прогнозные свойства СОТС в процессе обработки оценивают по стойкости инструмента при фиксированных режимах резания.

На рис. 2 представлен стенд для комплексного контроля функциональных свойств СОТС. Он устанавливается на столе вертикально-сверлильного станка. Отличительная особенность стенда — возможность использования небольшого количества СОТС на всех операциях, которые выполняются на этих станках: сверление, нарезание резьбы, развертывание, растачивание и цекование. Обрабатываемая заготовка 4 закрепляется в обойме 3, установленной на диске 2, внутри полого цилиндра 1, крышка 5 с манжетой 6 позволяют проводить эксперименты с газовыми средами и при подаче СОЖ под давлением. Цилиндр закреплен на столике 7 динамометра, соединенного с усилителем 8, осциллографом 9 и миллиамперметрами 10 для визуального контроля за силами резания и крутящим моментом. Штуцер 11 служит для слива СОЖ. Осевое усилие на инструмент создается грузом 12, подвешенным на тросе, который намотан на обод 13. Пластина 14, закрепленная на шпинделе станка, и индикатор часового типа 15, установленный на штативе 16, позволяют вести

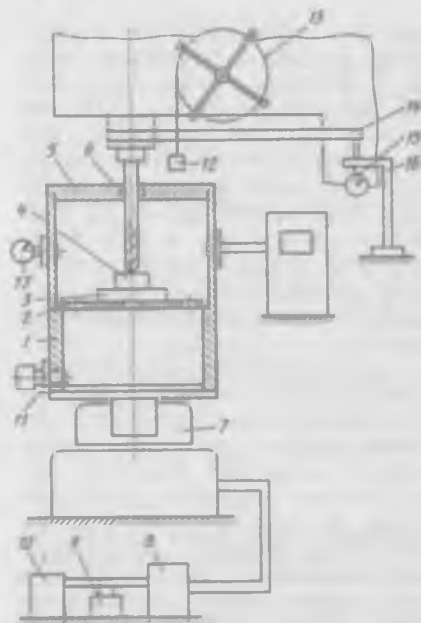


Рис. 2. Стенд для комплексного контроля функциональных свойств СОТС

визуальный контроль за вертикальным перемещением (подачей) инструмента. С помощью манометра 17 контролируют давление технологической среды. Смазочные свойства СОЖ оценивают по величине крутящего момента и амплитуде его колебаний при нарезании резьбы метчиком, так как на этой операции большая часть потребляемой мощности расходуется на преодоление силы адгезии и трения по профилю резьбы между метчиком и заготовкой и на поверхностях контакта инструмента и стружки. Применение неэффективных СОЖ приводит к увеличению среднего диаметра резьбы. Существует корреляционная связь между крутящим моментом, износом

метчика, шероховатостью поверхности резьбы и точностью среднего диаметра резьбы. Для оценки режущих свойств СОЖ на стенде проводят сверление или рассверливание отверстий при постоянной осевой нагрузке на шпинделе, создаваемой грузом 12, и измеряют минутную подачу инструмента. Влияние СОЖ на качество поверхностного слоя можно оценивать при разворачивании отверстий.

Для определения смазывающих свойств СОТС без процесса резания желательнее использовать машины трения с точечным скользящим контактом образцов, позволяющим развивать более высокие удельные нагрузки, чем при линейном контакте. Максимальное давление в зоне контакта для этих машин может достигать соответственно 5000 и 1500 МПа. В нашей и других промышленно развитых странах широкое распространение получили четырехшариковые машины трения. Узел трения этой машины представляет собой пирамиду из четырех контактирующих друг с другом шариков диаметром 12,7 мм, изготовленных из закаленной стали ШХ15. Верхний шарик закреплен во вращающемся шпинделе. Он прижимается с заданной нагрузкой к трем неподвижным нижним шарикам. Частота вращения шпинделя $(1460 \pm 70) \text{ мин}^{-1}$. Длительность краткосрочных испытаний $(10 \pm 0,2) \text{ с}$. На четырехшариковой машине трения определяют противоизносные, противозадирные и антифрикционные свойства жидких и пластичных смазочных материалов. По ГОСТ 9490—75* находят критическую нагрузку P_c , нагрузку сваривания P_o , индекс задира I_z и показатель износа

D_w . Критическая нагрузка P_c характеризует способность смазочного материала (СОТС) предотвращать быстрое изнашивание трущихся поверхностей. При этой нагрузке происходит резкое увеличение диаметра пятна износа на нижних шариках (на величину более 0,1 мм по сравнению с предыдущей нагрузкой).

Нагрузка сваривания P_o характеризует предельную работоспособность смазочного материала. Это наименьшая осевая нагрузка, вызывающая останов машины при достижении момента трения 1200 Н·м или сваривании шариков.

Индекс задира I_z — безразмерная величина, которая определяется по величине износа шариков при различных нагрузках: от начальной до нагрузки сваривания.

Показатель износа D_w определяется как средняя величина диаметра пятен износа нижних шариков при испытаниях в течение 1 ч с постоянной нагрузкой, меньшей критической.

Антифрикционные свойства смазочного материала определяют по коэффициенту трения в парах трения металл—металл и металл—абразив (при испытаниях СОТС для абразивной обработки). Стандарты на испытание масел на четырехшариковой машине разработаны английским нефтяным институтом (IP), в США (ASTM, FTMS) и других странах. Переходные критические температуры определяют на машинах трения (например, МАСТ-1 или КТ-2) по резкому повышению коэффициента трения и интенсивности изнашивания поверхностей. По ГОСТ 23.221—84 узел трения нагревают с помощью внешнего источника теплоты непрерывно

(со скоростью 5°C в минуту) или ступенчато. Влияние температуры на коэффициент трения металлических поверхностей при использовании СОЖ на водной и масляной основах показано на рис. 3. Испытания СОЖ проводили на машине КТ-2. При увеличении температуры с 20 до 100°C коэффициент трения возрастает в несколько раз. Равномерное скольжение шариков при температуре $60\text{--}100^{\circ}\text{C}$ сменяется на прерывистое, происходит схватывание трущихся поверхностей. Очевидно, разрушение смазочных слоев связано с насыщением жидкостей газами, проникновением пузырьков в зону контакта, уменьшением доли поверхности, покрытой адсорбированными молекулами активного компонента смазочного материала. При изменении температуры масляных СОЖ от 20 до 300°C коэффициент трения возрастает, как правило, в 1,5—1,8 раза. Максимальные значения коэффициента трения отмечаются при температуре $150\text{--}200^{\circ}\text{C}$. Термическое разрушение адсорбционных слоев, дезориентация и десорбция молекул масла и присадки приводят к повышенному адгезионному износу шариков. При дальнейшем повышении контактирующих поверхностей коэффициент трения снижается, в масле происходят термоокислительные реакции и образование кислородсодержащих групп. Они могут способствовать улучшению адсорбционных свойств масел. Химически активные элементы, содержащиеся в СОЖ, взаимодействуют с поверхностью металла и снижают коэффициент трения. Адгезионное изнашивание шариков сменяется на коррозионно-механическое.

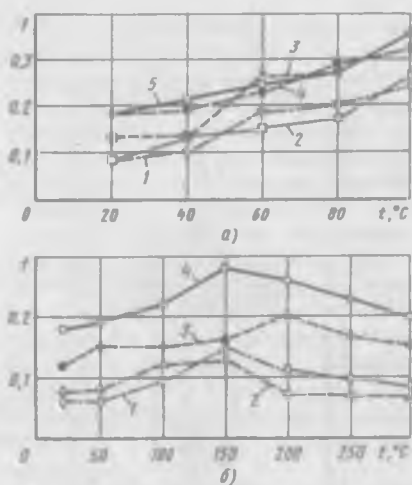


Рис. 3. Влияние температуры на коэффициент трения при использовании СОЖ:

а — на водной основе: 1—1%-ный раствор триэтаноламина; 2—5%-ный раствор Аквол-10; 3—1%-ный раствор кальцинированной соды; 4—5%-ный раствор Укринол-1М; 5—3%-ная эмульсия НГЛ-205; 6 — на масляной основе: 1—сульфофрезол; 2—5%-ный раствор МР-99; 3—Укринол-1; 4—масло И-12А

Контроль смазывающих свойств жидкостей при высоких температурах, превышающих температуру кипения жидкости при атмосферном давлении, можно проводить, если герметизировать узел трения и создать повышенное давление газовой среды, что позволит избежать образования пузырьков воздуха, резко ухудшающих триботехнические характеристики жидкостей. В реальных тяжело нагруженных контактах образуются герметично закрытые микрообъемы, в которых смазочный материал находится в сжатом состоянии под большим давлением. Пример такой установки

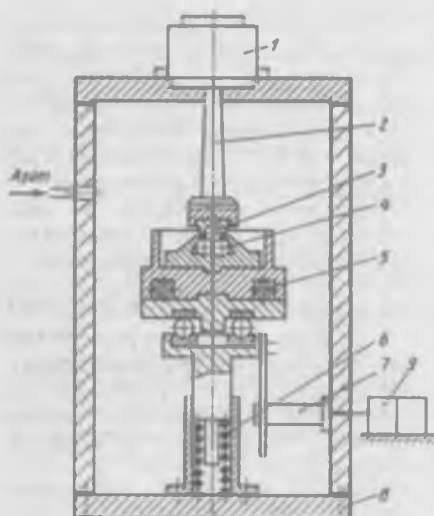


Рис. 4. Четырехшариковая машина трения для проверки смазочных свойств СОТС при повышенном давлении газа

показан на рис. 4. Принцип работы узла трения, помещенного в герметично изолированный цилиндр 8, следующий. Медленное вращение верхнего шарика 3, закрепленного в шпинделе 2 с частотой вращения 1 мин^{-1} позволяет избежать фрикционного нагрева. Нагружают верхний и нижние шарики 4 с помощью пружины 6. Вращение шпинделя сообщается через магнитную муфту 1. Необходимая объемная температура узла трения создается электрическим нагревательным устройством 5. Для измерения температуры узла трения используется хромель-копелевая термопара, спай которой установлен в непосредственной близости от места контакта шаров. Термопара соединена с потенциометром через электронную схему, обеспечивающую автоматическое регулиро-

вание температуры узла трения. Момент трения регулируется прибором 9 по изгибу упругой пластины 7 с наклепными тензодатчиками. Чтобы избежать ускоренного окисления смазочной среды под действием повышенного давления кислорода (парциальное давление кислорода увеличивается пропорционально возрастанию давления воздуха), в цилиндр дополнительно закачивают азот.

Влияние инструментального и обрабатываемого материалов на триботехнические характеристики СОЖ можно оценить на машинах трения, которые работают по схеме: вращающийся диск из обрабатываемого материала — неподвижный палец со сферическим концом из инструментального материала. В качестве примера можно назвать машину трения ДС-1. Для оценки смазывающих свойств СОЖ применяют также маятниковые динамометры, позволяющие изучить их влияние на термоЭДС, шероховатость поверхности, усадку стружки и работу резания при прерывистом резании. Работа резания

$$A_{\text{рез}} = ml(\cos \varphi_2 - \cos \varphi_1),$$

где m — масса маятника; l — длина маятника; φ_1 и φ_2 — углы отклонения маятника соответственно начальный и конечный.

Расчет наблюдаемой энергии активации E_a . Одной из наиболее информативных характеристик процесса трения является наблюдаемая энергия активации E_a процесса разрушения граничного смазочного слоя, которая характеризует способность смазочного материала образовывать прочные граничные слои, препятствующие металлическому контакту. Значе-

ние E_a определяется из уравнения

$$T_{sp} = \frac{E_a}{R \ln [Bp / (C^n H v^m)]} \quad (4)$$

где T_{sp} — критическая температура, вызывающая разрушение граничного смазочного слоя; $R = 8,314$ Дж/(моль · К) — универсальная газовая постоянная; p — номинальное давление в зоне контакта; v — скорость относительного перемещения контактирующих деталей; H — твердость поверхности при рабочей температуре; C — концентрация ПАВ в СОТС; B , m , n — постоянные контактирующего сопряжения.

E_a рассчитывается по результатам испытаний СОТС на разных режимах или на разных машинах трения:

$$E_a = \frac{T_{sp} T_{sp}'}{T_{sp} - T_{sp}'} \left(\ln \frac{v_1^m H_1}{p_1} - \ln \frac{v_2^m H_2}{p_2} \right) \quad (5)$$

где индексы 1 и 2 соответствуют результатам измерений на первом режиме (на первой машине трения), а индексы ' и 2 — результатам испытаний на втором режиме (на второй машине трения).

В частности, можно использовать четырехшариковые машины трения, позволяющие проводить испытания СОТС по ГОСТ 9490—75* и ГОСТ 23.221—84 (в последнем случае машина совершает медленное вращение шпинделя).

Давление на поверхности контакта шариков рассчитывается по уравнению

$$p = \frac{0,408 p_0}{\pi d^{2/3}} = 0,52 p_0 / d^2, \quad (6)$$

где d — диаметр пятна контакта

с учетом износа (определяется по формуле Герца). На стандартной четырехшариковой машине d измеряется при нагрузке, предшествующей P_c ; при испытании на машине КТ-2 — при температуре, предшествующей критической.

Твердость H , шаров в зоне контакта при рабочих температурах оценивается по уравнению

$$H_t = H_0 \exp(-\epsilon \Delta T), \quad (7)$$

где $\epsilon = 0,002$ (для температур менее 0,5 температуры плавления); $\Delta T = T - T_0$ ($T = T_0 + T_1$, где T , T_0 , T_1 — температуры соответственно в зоне контакта, объемная, вспышки).

Для четырехшариковой машины в первом приближении

$$T_1 = 0,9 f P v, \quad (8)$$

где f — коэффициент трения.

При определении E_a показатель степени m принимался равным 0,5.

Чем меньше E_a при равных других функциональных свойствах СОТС, тем выше способность смазочного материала образовывать прочные граничные слои. Испытания 2—5%-ных водных эмульсий Укринол-1М, 3%-ной эмульсии НГЛ-205, 5%-ного раствора Аквол-10М, 1%-ного водного раствора калцинированной соды показали, что для этих СОЖ наблюдаемая энергия активации находится в пределах 16—21 кДж/моль. При подборе СОТС по энергии активации необходимо учитывать их охлаждающие, моющие и другие функциональные свойства.

Влияние состава СОТС на их смазывающие свойства. На выбор состава СОТС для различных операций механической обработки оказывают влияние материалы

инструмента и заготовки, температура и давление в зонах их контакта. Установление температуры в зоне резания выше критической вызывает десорбцию молекул СОТС, нарушение их ориентации и, как следствие, схватывание контактирующих поверхностей. Чем больше теплота адсорбции ПАВ, тем прочнее связь между молекулами СОТС и твердым телом. Теплота адсорбции ПАВ на металлических поверхностях возрастает в последовательности: сложные эфиры — спирты — карбоновые кислоты — первичные амины.

Теплота адсорбции на железе углеводородных жидкостей, применяемых в СОТС, увеличивается в последовательности: керосин — масло промышленное — масло касторовое — масло льняное — керосин с олеиновой кислотой.

Смазывающие свойства углеводородов, входящих в состав минеральных масел, повышаются с увеличением их молекулярного веса, а следовательно, и вязкости. Эффективность минеральных масел ниже, чем растительных. Полярные молекулы растительных масел образуют более прочные защитные пленки. Смазывающие свойства спиртов с короткими цепями нормального строения и изостроения равнозначны. При переходе от одноатомных спиртов к многоатомным (с увеличением количества гидроксильных групп) смазывающая способность спиртов повышается.

В состав СОТС часто вводят олеиновую, стеариновую, 12-окстеариновую кислоты, синтетические жирные кислоты и их производные. Для нормальных спиртов и жирных кислот предельного ряда критическая температура

возрастает с увеличением длины углеводородной цепи и молекулярной массы соединения, а для жирных кислот — также с уменьшением кислотности.

Смазывающая способность предельных жирных кислот и синтетических жирных кислот улучшается с увеличением числа атомов углерода в молекуле. Смазывающая способность сложных эфиров изменяется так же, как у спиртов и жирных кислот, на основе которых они получены. При взаимодействии жирных кислот и их эфиров с поверхностью металла образуются соответствующие соли — металлические мыла. Температура разрушения металлических мыл в зависимости от катиона металла снижается в следующем порядке: $\text{Li} > \text{Na} > \text{Ca} > \text{Ba} > \text{Al} > \text{Fe}$. Мыла щелочных металлов не разрушаются до температур 300—310 °C, мыла алюминия — до 200—210 °C, мыла железа и марганца — до 120—160 °C. При хемосорбции газов и паров на поверхности металла их активность убывает так: $\text{Ta} > \text{W} > \text{Cr} > \text{Fe} > \text{Ni} > \text{Rh} > \text{Cu} > \text{Au}$.

Влияние на противоизносные и противозадирные свойства веретенного масла АУ, (вязкость при 50 °C $12,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, содержание S 0,16%) полярных присадок приведено в табл. 2. В качестве полярных присадок применяли рапсовое масло, олеиновую кислоту, метилолеат, олеилсаркозин, первичные жирные амины состава C_{16} — C_{18} и др. Все присадки были технически чистыми продуктами и добавлялись к веретенному маслу в количестве 2%. Мыла кислот в сочетании с товарными полигликолями (ПЭГ-35, ПЭГ-115) широко применяют

2. Смазывающие свойства (по ГОСТ 9490—75*) веретенного масла АУ с добавками (2%) полярных присадок [17]

Присадка	P_1	P_2	$D_{в.}$ мм
	кН		
Без присадки	0,392	1,098	0,75
Рапсовое масло	0,490	1,234	0,73
Олеиновая кислота	0,392	1,234	0,79
Метилолеат	0,490	1,234	0,76
Олеилсаркозин	0,441	1,411	0,90
Первичные жирные амины состава $C_{16}-C_{18}$	0,441	1,353	0,65
Нефтяной сульфат бария	0,392	1,234	0,67
Фосфатиды подсолнечного масла	0,490	1,549	0,59

в водных СОЖ. Смазывающие свойства мыл некоторых кислот и их смесей с полиалкиленгликолями показаны на примере полиалкиленгликоля ПЭГ-35 в табл. 3. Полиалкиленгликоли в некоторых случаях усиливают противозадирные свойства композиций. С увеличением молекуляр-

ной массы полиалкиленгликолей их противозадирные свойства улучшаются.

По сравнению с маслами водные эмульсии общего назначения, содержащие минеральное масло (без присадок) и эмульгатор, обладают более высокими охлаждающими свойствами. Их целесооб-

3. Смазывающие свойства (по ГОСТ 9490—75*) триэаноламинных мыл алфатических карбоновых кислот

Мыла кислот и СЖК*	P_1	P_2	Коэффициент трения**
	кН		
Мыла кислоты:			
бутановой	0,63/0,56	1,12/1,00	0,61/0,66
гексановой	0,71/0,28	1,00/1,12	0,55/0,38
октановой	0,89/0,63	1,12/1,00	0,40/0,19
нонановой	1,12/0,79	1,26/1,12	0,30/0,16
декановой	1,26/0,79	1,41/1,12	0,16/0,13
Мыла смесей СЖК:			
C_7-C_9	1,00/1,26	1,12/1,41	0,19/0,20
$C_{10}-C_{13}$	1,00/1,56	1,12/1,78	0,12/0,09

* Синтетические жирные кислоты.

** Определен на машине трения «Сета».

Примечание. В числителе приведены смазочные свойства 1%-ных водных растворов триэаноламинных мыл, в знаменателе — свойства этих растворов мыл с 1% ПЭГ-35.

4. Смазывающие свойства (по ГОСТ 9490—75*) и коэффициент изменения стойкости K , 3%-ых водных эмульсий [16]

СОТС	P_a	P_s	$D_{\text{мм}}$	$K_t = K_{\text{эмуль}}/K_{\text{сух}}$	Режим обработки
	кН				
Укринол-1М	0,89	1,0	0,7	1,5	Точение стали 45 резцами из стали Р6М5; $v = 70$ м/мин; $S = 0,3$ мм/об; $t = 1$ мм
S-8265	0,89	1,12	0,68	1	Сверление стали 45 сверлами из стали Р6М5; $v = 41,7$ м/мин; $S = 0,28$ мм/об; $d = 17$ мм

разно применять при точении, сверлении, фрезеровании, растачивании, отрезании, нарезании резьбы, развертывании, протягивании, шлифовании черных и цветных металлов. Примером эмульсии общего назначения является Укринол-1М, эмульсол которой состоит из 75% минерального масла (типа И-12А) и 25% эмульгатора. Аналогичные свойства и назначение имеет эмульсия S-8265 фирмы «Шелл» (Великобритания). Их смазывающие свойства и сравнительные данные стойкости инструмента приведены в табл. 4.

Для улучшения смазывающих свойств СОТС применяют также координационные соединения и ацилаты металлов.

Применение присадок с химически активными элементами. Присадки, содержащие S, Cl, P, I, F, применяют в водных и масляных СОЖ при обработке высоколегированных сталей и сплавов и труднообрабатываемых материалов. Их используют также при обработке конструкционных и углеродистых сталей, для тяжелых

режимов резания при нарезании резьбы, протягивании, зубообработке, для чернового и профильного шлифования. При высоких температуре и давлении в процессе резания активная часть присадки взаимодействует с ювенильными поверхностями материалов заготовки и обрабатываемого инструмента материалов, образует граничные пленки, которые уменьшают схватывание и изнашивание трущихся поверхностей.

Присадки, содержащие S. Эти присадки обладают хорошими противозадирными и противонизносными свойствами. Пленки, образованные серосодержащими присадками, не разлагаются при высоких температурах. Исследования скольжения чистых стальных поверхностей в атмосфере хлора и сероводорода при температуре 20—1100 °C показали, что в атмосфере Cl схватывание поверхностей начинается при температуре ~370 °C, а в атмосфере сероводорода — только при 815 °C. Это объясняется тем, что температура плавления сульфидов железа (1193 °C) выше темпера-

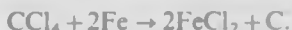
туры плавления хлоридов железа (677 °C).

Присадки, содержащие S, можно разделить на четыре группы: простейшие типа RS_nR , на основе осеренного спермацетового жира и его заменителей, на основе осеренных олефинов, присадки, содержащие кроме серы другие элементы. Эффективность присадок зависит от строения радикалов, наличия полярных групп на концах молекулы. Из присадок типа RS_nR наиболее слабое противозадирное действие проявляют моносульфиды. Противозадирное действие дисульфидов уменьшается с увеличением прочности связи $S-S$ и $C-S$.

Энергия связи $S-S$ и $C-S$ соответственно 218 и 260 кДж/моль. Противозадирная эффективность ди-*n*-алкилдисульфидов ухудшается с удлинением алкильной цепи. Соединения с алифатической связью $C-S$ обладают лучшими противозадирными свойствами, чем с ароматической связью. Неорганические соединения серы с алифатической связью (сульфиды натрия и лития) проявляют более высокие противозадирные свойства, чем органические соединения серы (см. табл. 11 и 12).

Присадки, содержащие Cl. В водных эмульсиях и масляных СОЖ их широко применяют в качестве противоизносных и противозадирных присадок. Они особенно эффективны при обработке высоколегированных сталей, содержащих хром и никель, труднообрабатываемых материалов на основе молибдена и титана. Температура плавления хлоридов этих металлов в 2—3 раза ниже температуры плавления самих металлов. Высокая смазочная спо-

собность низших галоидуглеводородов и четыреххлористого углерода при резании может быть связана с образованием не только хлоридов, но и графита, играющего роль твердой смазки:



При равном содержании хлора в молекуле эффективность хлорированных алифатических углеводородов, как правило, выше, чем не полностью замещенных ароматических хлорпроизводных, таких, как трихлорбензол, трихлорфенол и полихлорнафталин. Однако алициклические хлорпроизводные с высоким содержанием хлора и полностью хлорированные пятичленные непредельные алициклиды значительно превосходят по противозадирным свойствам хлорированный парафин.

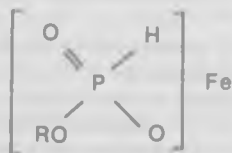
Присадки, содержащие P. Эти присадки оказывают противоизносное и противозадирное действие. Эфиры кислот фосфора (тио- и дитиофосфаты), соли 0, 0-диалкилдитиофосфорных кислот обладают также антиокислительными и антикоррозионными свойствами. Испытания на четырехшариковой машине жидких парафинов с различными диалкилфосфатами при концентрации 4 М на 100 г масла показали, что их противозадирная эффективность уменьшается с удлинением алкильной цепи и снижением скорости адсорбции присадок на металлической поверхности.

Противозадирная эффективность диалкилфосфатов уменьшается в следующем порядке: диэтил- > дибутил- > дистеарил- > дилаурил- > ди-(2-этилгексил)- > дициклогексил.

Противоизносная эффективность диалкилфосфатов ухудшает-

ся в следующей последовательности: дистеарил- < дициклогексил- < дилаурил- < ди-(2-этилгексил)- < дибутил- < диэтил.

Противоизносные свойства диэтил- и дибутилфосфитов выше при низких концентрациях, а у остальных фосфитов они возрастают с увеличением концентрации. Противозадирное действие диалкилфосфитов обусловлено образованием фосфорных кислот, которые взаимодействуют с поверхностью металла, образуя соли:



Присадки, содержащие несколько активных элементов. Активные элементы, входящие в состав СОТС, могут быть связаны в одной молекуле или применяться как композиции из нескольких присадок.

По коррозионному действию на медь присадки делятся на две группы: содержащие активную (свободную) серу и вызывающие коррозию меди; не содержащие активной серы.

К эмульсолам первой группы относят Аквол-2, второй группы — Аквол-6.

При одновременном использовании нескольких активных элементов возможен синергизм их действия, т. е. в этом случае эффективность использования многокомпонентных присадок может быть выше, чем при простом суммировании эффективности отдельных компонентов. Синергизм

может объясняться как ускорением адсорбции одного элемента в присутствии другого, так и возмещением граничных структур, дополняющих друг друга. Например, хлориды железа более пластичны, чем сульфиды железа, что обеспечивает лучшую работоспособность серо- и хлорсодержащих присадок.

Ниже приведены составы (%) типовых эмульсолов для водных эмульсий, содержащих S или Cl или одновременно оба эти компонента [16].

1. Минеральное масло (типа И-12А)	30
Эмульгатор	40
Хлорированный парафин (40—50% Cl) ...	30
2. Минеральное масло (типа И-12А)	48 или 56
Эмульгатор	40 или 40
Осерненное (7—10% S) жировое масло	12 или 0
Полисульфид (30—40% S) типа дитретнонилполисульфида ЛЗ-301	0 или 4
3. Минеральное масло (типа И-12А)	35 или 41
Эмульгатор	40 или 40
Хлорированный парафин (40—50% Cl)	15 или 10
Осерненное (7—10% S) жировое масло	10 или 5
Полисульфид (30—40% S) ЛЗ-301	0 или 4

Водной эмульсией первого типа является Аквол-6. Ей аналогична эмульсия Мобилмет 150 (США). Эмульсией третьего типа является Аквол-2. По свойствам и назначению ей аналогичны Симпериал 20 фирмы «Цинциннати Милакрон» (США), Тримсол фирмы «Мастер Хемикал» (США).

Примером концентрата масляной серо- и хлорсодержащей СОЖ служит присадка МР-99.

5. Смазывающие свойства (по ГОСТ 9490—75*) водных эмульсий [16]

Эмульсия	P_s	P_c	D_n , мм
	кН		
Аквол-6 (2%-ная)	1,41	1,78	0,92
Мобилмет 150 (2%-ная)	1,41	1,88	0,97
Аквол-2 (2%-ная)	1,12	1,58	0,85
Симпериал 20 (5%-ная)	1,26	1,58	0,90
Аквол-2 (5%-ная)	1,12	1,58	0,85
Тримсол (5%-ная)	1,58	1,78	0,98

Смазывающие свойства водных эмульсий приведены в табл. 5, масляных СОЖ—в табл. 6.

Высокими противоизносными свойствами обладает присадка ВЗ-1 (см. табл. 6), 2—4%-ные масляные растворы которой показы-

вают хорошие результаты при лезвийной и абразивной обработке.

Многокомпонентные присадки применяются как полуфункциональные композиции. При разработке СОТС с заданным уровнем смазочных свойств необходимо подбирать оптимальную концентрацию каждого компонента с учетом синергизма или антагонизма их действия. Смазывающие свойства индустриального масла И-12А с различными присадками и ПАВ приведены в табл. 7.

Влияние концентрации присадок на смазывающие свойства СОТС. В основе смазывающего действия различных компонентов СОТС лежат явления адсорбции. Количество ПАВ на межфазной границе можно определить методом

6. Смазывающие свойства (по ГОСТ 9490—75*) масляных СОЖ [4]

СОЖ	P_s	P_c	I , мм	D_n , мм	Коэффициент трения μ_s/μ_c
МР-1у	1,00	4,47	70	0,63	0,13/0,16
МР-2у	1,00	2,00	55	0,61	0,10/0,13
МР-3	0,89	5,62	82	0,56	0,11/0,13
МР-4	0,94	4,00	72	0,55	0,10/0,14
МР-5у	1,12	4,40	77	0,56	0,12/0,13
МР-6	1,41	6,30	—	0,65	0,10/0,12
МР-7	0,94	6,30	83	0,58	0,10/0,12
МР-8	1,60	5,00	70	0,60	0,10/0,10
МР-9	1,19	2,50	53	0,49	0,13/0,15
МР-10	0,90	2,20	55	0,57	0,2/0,07
МР-99	1,00	6,30	—	0,59	—
ОСМ-3	1,12	4,00	74	0,80	—
ОСМ-5	0,70	3,55	83	0,65	—
ЛЗ-СОЖ-1СП	1,26	4,47	70	0,70	—
ЛЗ-СОЖ-1Т	1,60	3,15	—	0,59	—
2%-ный раствор ВЗ-1 в масле М-11	0,84	2,0	37,9	0,4	—

* Определен на машине трения «Сета»; μ_s и μ_c —коэффициенты трения соответственно в начале и конце испытания

7. Смазывающие свойства (по ГОСТ 9490—75*) противозносных и противозадирных присадок для масляных СОЖ [4]

Присадка	Концентрация присадки в масле И-12А, мас. доля, %	P_z	P_s	D_n , мм
		кН		
Масло И-12А	—	0,5	1,60	0,76
Диалкилдитиофосфат цинка (ДФ-11)	0,50	0,84	1,60	0,46
То же	3,0	0,84	1,68	0,35
Полиалкоксифосфонитрильная кислота	0,25	0,80	1,60	0,57
Хелат алкоксифосфазена с железом	2,00	1,00	1,41	0,41
Хелат алкоксифосфазена с медью	0,25	0,63	1,33	0,57
Дибензилдисульфид	2,80	0,50	2,82	0,45
Хлорированный парафин (ХП-470)	3,00	0,67	1,78	0,70
То же	5,00	0,89	2,11	0,79
Дибутиловый эфир трихлорметилфосфоновой кислоты (Хлорэф-40)	1,50	0,80	3,15	—
То же	3,00	1,41	3,55	0,93
Хлорсульфидированные животные жиры	5,00	0,94	5,22	0,75
Осерненный додецен	5,00	0,89	2,99	0,68
Хлорсульфидированные α -олефины	5,00	0,84	5,00	0,81
Осерненный животный жир неактивного типа	5,00	0,75	2,66	0,50
Трис (трихлорметил)-триазин	1,00	0,89	2,24	—
Метилбис (трихлорметил)-триазин	1,00	0,75	3,55	0,80
Бис-трихлорметил-1,3,4-тиадиазол	1,00	1,12	4,73	0,71

8. Влияние концентрации водной эмульсии на ее смазывающие свойства (ГОСТ 9490—75*) [5]

Номер соста- ва	Состав эмульсии, мас. доля, %	Концентра- ция, мас доля, %	P_z	P_s	I_z	D_n , мм
			кН			
1	62 И-20А + 35 синтетического жирозаменителя + 3 эмульга- тора	100	0,657	1,304	26,4	0,64
		5	1,236	1,304	—	0,94
2	58, 25 И-20А + 35 синтетиче- ского жирозаменителя + 3,75 КИНХ-2	100	0,872	2,197	39,5	0,54
		60	1,569	1,745	55,7	1,0
		40	1,471	1,569	48,3	1,2
		30	1,471	1,569	56,3	1,1
		20	1,382	1,569	56,3	0,9
		15	1,382	1,569	56,3	0,82
		10	1,382	1,569	56,3	0,86
		5	1,235	1,382	56,3	0,88

9. Влияние концентрации ПАВ на смазывающие свойства масляных растворов противозносных и противозадирных присадок (ГОСТ 9490—75) [4]

Состав масляных раство- ров присадок, мас. доля, %	Добавляемые ПАВ	Концент- рация ПАВ, мас. доля, %	P_z	P_c	$D_{z, мм}$
			κН		
Веретенное масло АУ (базо- вое)	—	—	0,40	1,12	0,73
Базовое масло + 0,7 эле- ментной серы	—	—	0,70	4,00	0,85
	Рапсовое масло	1,0	0,70	4,00	0,66
	То же	2,0	0,63	4,00	0,63
	»	3,0	0,63	4,00	0,57
	»	5,0	0,63	4,00	0,55
	Фосфатиды	0,2	0,89	4,00	0,53
	То же	0,5	0,89	4,47	0,50
	»	1,0	0,89	4,47	0,50
	»	2,0	0,89	4,47	0,50
Базовое масло + 2,8 дибен- зилдисульфида	—	—	0,50	2,82	0,45
	Олеилсаркозин	1,0	0,50	2,25	0,73
	То же	2,0	0,45	2,00	0,86
	»	3,0	0,45	1,58	0,88
Базовое масло + 5 осернен- ного додецента	—	—	0,89	2,99	0,68
	Олеиновая кислота	1,0	0,75	2,44	0,68
	То же	2,0	0,60	2,00	0,66
	»	3,0	0,60	1,88	0,65
	»	5,0	0,60	1,88	0,54
Базовое масло + 3 хлориро- ванного парафина	—	—	1,00	1,78	0,76
	Нефтяной сульфат бария	1,0	1,0	1,78	0,74
	То же	2,0	0,79	1,78	0,69
	»	3,0	0,79	1,78	0,56
	Алкенилсукцинимид- ная присадка С-5А	1,0	0,94	1,78	0,67
	То же	2,0	0,89	1,78	0,66
	»	3,0	0,84	1,68	0,66
Базовое масло + 5 хлорсуль- фидированных α-олефинов	—	—	0,94	5,00	0,81
	Олеиновая кислота	1,0	0,94	4,73	0,83
	То же	2,0	0,94	2,82	0,84
	»	3,0	0,94	2,66	0,85
	»	5,0	0,94	2,24	0,90
Базовое масло + 5 хлорсуль- фидированных жиров	—	—	0,94	5,22	0,75
	Алкенилсукцинимид- ная присадка	0,5	0,94	3,55	0,75
	То же	1,0	0,94	2,66	0,73
	»	2,0	0,89	2,66	0,73
	»	3,0	0,75	2,82	0,71

радиоактивных изотопов. Для жидкостей адсорбция определяется по изменению поверхностного натяжения σ в зависимости от концентрации ПАВ. Изменение свойств поверхности при определенной адсорбции Γ характеризуется отношением $\Delta \cos \theta / \Gamma$, где θ — краевой угол смачивания. Насколько прочно защитная пленка будет удерживаться на поверхности раздела фаз, можно оценить по формуле Ленгмюра

$$A_{ad} = RT \ln \frac{-1}{RT\delta} \left(-\frac{d\sigma}{dC} \right),$$

где A_{ad} — работа адсорбции; δ — толщина поверхностного слоя, принимаемая равной или длине молекулы, или толщине слоя, определяющего поверхностное натяжение (ее значение — несколько нанометров); C — концентрация ПАВ в растворе. Величина адсорбции определяется на основе экспериментальных данных [1].

Большинство присадок обеспечивает наиболее высокие смазочные свойства СОТС при определенной оптимальной их концентрации. Значения оптимальной концентрации с точки зрения противозадирных и противоизносных свойств могут не совпадать. Водные эмульсии могут иметь лучшие смазочные свойства, чем их концентраты. Влияние химического состава и концентрации противозадирных присадок на смазывающие свойства водных и масляных растворов приведено в табл. 7—9. Для приготовления эмульсий использовали воду жесткостью 4,6 мг-экв/л.

Более высокие противозадирные, но более низкие противоизносные свойства, чем у концентрата, имеет 5%-ная водная эмульсия (состав 1, табл. 8). Состав

2 имеет наихудшие противоизносные свойства при концентрации 40%. Критическая нагрузка P_c перехода к заеданию имеет максимум при концентрации 60%, а нагрузка сваривания P_s наибольшая при 100%.

Как следует из табл. 7—9, присадки, улучшающие противозадирное действие жидкости, могут улучшать и противоизносные свойства.

Влияние смазывающих свойств СОТС на технологические параметры процесса механической обработки

Наиболее надежный метод оценки технологических свойств СОТС состоит в их испытании на тех станках, на которых они будут применяться на заводе. Однако такой метод не всегда может быть принят из-за длительности цеховых испытаний, их высокой стоимости и большого разброса экспериментальных данных вследствие неточностей в наладке станка, трудностей подбора инструментов и заготовок с постоянными физико-механическими свойствами.

Изучение взаимосвязей между противозадирными, противоизносными, антифрикционными свойствами СОТС и технологическими параметрами обработки (точностью, производительностью, качеством поверхностного слоя, стойкостью инструмента) позволяет более целенаправленно вести разработку и подбор СОЖ, шире применять для предварительной оценки СОЖ машины трения. Применение машин трения (в особенности работающих при больших удельных нагрузках)

перспективно вследствие многократного сокращения времени испытаний использования и небольшого количества СОЖ, необходимых для проведения экспериментов. Наиболее широкое применение нашли четырехшариковые машины трения, которые используются для определения совместимости в СОЖ различных присадок и ПАВ.

Токарная обработка. При лезвийной обработке углеродистых и легированных сталей в зоне низких скоростей резания происходит интенсивное наростообразование. Повышение смазывающих свойств СОЖ стабилизирует наростообразование, уменьшает размер нароста, прочность и силу сцепления между отдельными слоями. В случае нестабильного наростообразования периодически срывающиеся частицы нароста интенсифицируют изнашивание инструмента вследствие абразивного «пропахивания» контактных поверхностей инструмента, ухудшают шероховатость обработанной поверхности. Однако улучшение смазывающих свойств СОЖ может иметь и отрицательные последствия, в частности, в тех случаях, когда нарост оказывает защитное действие (например, при обработке сталей на сравнительно невысоких режимах резания инструментами из быстрорежущей стали).

При токарной обработке эффективные СОТС уменьшают площадь контакта стружки с передней поверхностью резца, снижают силу трения и адгезии, а неэффективные — могут повышать площадь контакта. Например, при резании свинца со скоростью 0,2 м/с эмульсия снижает длину контакта стружки с передней по-

верхностью резца в 2 раза при толщине среза 0,03—0,05 мм и в 1,4 раза при толщине среза 0,4—0,5 мм, а четыреххлористый углерод увеличивает длину контакта до 5 раз.

С ростом толщины среза и скорости резания влияние СОТС падает. Для меди площадь контакта изменяется в диапазоне скоростей резания 0,032—0,240 м/с, для стали 40Х—0,017—1,63 м/с. Улучшение смазывающих свойств водных и масляных СОЖ практически не влияет на средние контактные касательные напряжения на передней поверхности резца и увеличивает средние нормальные напряжения в результате уменьшения площади контакта стружки с инструментом. Наиболее сильно СОЖ снижает силу трения у режущей кромки на первой четверти длины зоны контакта стружки с передней поверхностью. С увеличением расстояния от режущей кромки смазывающее действие СОЖ уменьшается.

Хорошее совпадение результатов дали испытания СОЖ на четырехшариковой машине трения и при точении стали ШХ15 резцом из быстрорежущей стали ($\gamma=10^\circ$; $\phi=\phi_1=45^\circ$ и $\alpha=8^\circ$) со скоростью 35 м/мин, подачей 0,14 мм/об и глубиной резания 1 мм [17]. Испытывали масляные растворы дибензилдисульфида с олеилсаркозином (как плохо совместимые) и осерненного минерального масла с фосфатидом (как хорошо совместимые).

Олеилсаркозин затрудняет адсорбцию и взаимодействие дибензилдисульфида с обрабатываемым металлом и инструментом. Образующиеся граничные пленки являются менее устойчивыми.

Применение фосфатида уменьшило коррозионно-механическое изнашивание инструмента и шариков под действием активной среды.

Хорошие результаты были получены при резании металлов с использованием СОЖ, в состав которых входят лиганды—соединения, способные образовывать с металлами в процессе резания термодинамически прочные координационные соединения. Присадка трилон Б (динатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты) повышает нагрузку сваривания водных растворов при концентрации 2,5; 5 и 10% с 980 до 2745—3480 Н и снижает износ шариков (при увеличении осевой нагрузки с 980 до 2450 Н износ составлял 1,5—1,75 мм, в то время как для всех испытанных водных СОЖ износ превышал 1,5—2 мм уже при нагрузке 785—1125 Н). Опыты при применении полива 2%-ным водным раствором трилона Б показали, что

стойкость резцов из стали 45 повысилась в 1,5—2 раза по сравнению с их стойкостью при использовании полива 4%-ной эмульсией ЭТ-2 (в диапазоне скоростей резания 30—60 м/мин). Некоторые противозадирные присадки обладают плохими противозадирными свойствами, поэтому их применение может уменьшить стойкость инструмента и вызвать повышенное коррозионно-механическое изнашивание инструмента. СОЖ с химически активными элементами способствуют повышенному изнашиванию резцов в начале периода стойкости. Однако при использовании таких СОЖ резцы сохраняют режущие свойства при большом износе. Так, для масел И-12А и веретенного АУ предельный износ по вспомогательной задней поверхности составил 0,3—0,4 мм, а для масляной СОЖ МР-1—0,5—0,8 мм.

Сверление. Применение эффективных противозадирных и про-

10. Влияние смазывающих свойств (по ГОСТ 9490—75*) минерального масла АУ без добавок и с присадками на стойкость сверл из стали Р6М5 [17]

Присадка	Концентрация присадки ■ масле, мас. доля, %	P_c	P_s	D_n , мм	Число просверленных отверстий
		кН			
Без присадки	—	0,392	1,098	0,75	87
Дибензилдисульфид	2,8	0,49	2,765	0,45	282
Дибензилдисульфид + олеиновая кислота	2,8 + 2,0	0,441	2,197	0,7	202
Элементарная сера	0,7	0,696	3,903	0,85	326
Элементарная сера + фосфатид	0,7 + 2,0	0,873	4,383	0,5	357
Дибензилдисульфид + олеилсар- козин	2,8 + 2,0	0,441	1,961	0,86	213
Элементарная сера + олеилсар- козин	0,7 + 2,0	0,774	3,903	0,61	330
Хлорированный парафин	3,0	0,549	1,382	0,74	155
Хлорированный парафин + суль- фонат бария	3,0 + 2,0	0,774	1,745	0,69	140

тивоизносных присадок в масляных СОЖ увеличивает в несколько раз стойкость сверл. Влияние смазывающих свойств минерального масла без добавок и с присадками на стойкость сверл диаметром 5 мм из стали Р6М5 при обработке стали 45 с постоянным осевым усилием приведено в табл. 10. Скорость резания 33 м/мин. Предельно допустимый износ по задней грани 0,3 мм.

Минеральное масло АУ имело вязкость при 50 °С $12,8 \cdot 10^{-6}$ м²/с и содержало 0,16% S. Содержание присадок в масле в пересчете на S во всех случаях составило 0,7%, в пересчете на Cl—1,4%.

В качестве противозадирных присадок были использованы дибензилдисульфид (температура плавления 70 °С, содержание серы 25,3%), сера кристаллическая (содержание серы 99,7%) и хлорированный парафин (содержание хлора 47%). Результаты испытаний СОЖ на четырехшариковой машине и при сверлении имеют хорошую корреляцию. Большой диаметр пятна износа трех нижних шариков и меньшая стойкость сверла отмечены в случае применения дибензилдисульфида с олеилсаркозином и олеиновой кислотой по сравнению с минеральным маслом с добавкой дибензилдисульфида. Опыты показали повышение стойкости сверл в случае применения осеренного минерального масла с фосфатидом и незначительное уменьшение стойкости при добавлении сульфоната бария к хлорированному парафину.

При применении водных СОТС с улучшенными противозадирными и противозадирными свойствами стойкость сверл также по-

вышается. Замена эмульсии сульфидом натрия и дитиодигликолятом натрия позволила просверлить одним сверлом почти в 4 раза больше отверстий в стали En31 (табл. 11). Отверстия сверлили на глубину 16 мм сверлом диаметром 6,35 мм с частотой вращения 17 мин⁻¹.

Нарезание резьбы. Хорошая корреляция результатов получена при испытаниях СОТС на четырехшариковой машине и при нарезании резьбы в стали En31 метчиком из быстрорежущей стали [19].

Положительные результаты были получены при испытании дисульфидов, содержащих алифатическую связь C—S (табл. 12). Плохие показатели по нагрузке сваривания, средней нагрузке по Герцу и по крутящему моменту при нарезании резьбы имели производные моносulfиды натрия (2-меркаптопропионат и тиосалицилат). Тиосалицилат, имеющий прочную связь C—S, показал наилучшие результаты. При испытании дисульфидов наименее эффективными также были соединения с ароматической связью углерод—сера (динатриевая соль 2,2'-дитиобензойной кислоты). Среди неорганических соединений серы наилучшие результаты показали сульфид натрия и полисульфид бария. Все водные СОЖ, содержащие S, были более эффективны, чем эмульсия, принятая за эталон в процессе испытаний. Сравнение серосодержащих соединений с различными катионами, имеющими дисульфид в качестве активной части молекул, показало значительные различия в смазывающих свойствах и в значениях крутящего момента при нарезании резьбы (см. табл. 12). Соли

11. Влияние смазывающих свойств водных СОТС с серосодержащими присадками на стойкость сверла [19]

Присадка	Концентрация, мас. доля, %	Нагрузка, кН		Среднее число отверстий, просверленных до затупления сверла
		средняя по Герцу	сваривания	
Сульфид натрия	1,11	0,578	7,845	85
Дитиодигликолят динатрия	1,7	0,485	3,922	82
Товарная водная эмульсия	—	0,208	—	21

дитиогликолевой кислоты были получены нейтрализацией различными основаниями. Наилучшие результаты показали производные натрия и калия, что объясняется легкостью реакции с поверхно-

стью стабильного аниона благодаря сильному электровалентному характеру связей металл—карбоксилат. Меньшая эффективность производных лития, цинка, триэтаноламина и диэтиленetriз-

12. Влияние смазывающих свойств водных присадок, содержащих серу, на их эффективность при нарезании резьбы в стали метчиком из стали En31 [19]

Присадка	Концентрация, мас. доля, %	Эффективность, %	Нагрузка, кН	
			средняя по Герцу	сваривания

Органические соединения

Тиосалицилат натрия	2,64	104	0,18	1,667
2-меркаптопропинат натрия	1,92	104	0,22	1,96
2,2'-дитиобензоат динатрия	2,63	106	0,252	1,96
L-цистин динатрия	2,14	108	0,461	3,138
Дитиодигликолят динатрия	1,7	110	0,485	3,92
2,2'-дитиодипропинат натрия	1,2	111	0,319	2,50

Неорганические соединения

Бисульфат натрия	1,11	103	0,518	3,726
Полисульфид калия	1,57	109	0,456	2,50
Сульфид лития	1,35	111	0,513	4,9
Полисульфид бария	1,41	112	0,499	2,745
Сульфид натрия	3,3	114	0,578	7,845

Примечание. Эффективность водной эмульсии 100% (средняя нагрузка по Герцу 0,208 кН).

таноламина объяснена стерическими (пространственными) факторами.

Шлифование. Повышение противозадирных и противозносных свойств СОЖ для шлифования позволяет повысить стойкость кругов, избежать налипов, сократить цикл обработки путем увеличения безожеговой подачи, устраняет надирь на базовых поверхностях при шлифовании на жестких опорах. Для улучшения смазывающих свойств масел при шлифовании профилей зубьев и пазов в них вводят мыла жирных кислот, спермацетовый жир и другие ПАВ. При резбошлифовании инструментальных и конструкционных сталей, при шлифовании жаропрочных сталей и сплавов для улучшения смазывающих свойств масел применяют присадки, содержащие активные галоиды и серу.

Улучшение смазывающих свойств СОЖ локализует пластическую деформацию, уменьшает величину и глубину расположения остаточных напряжений, снижает мощность и усилия резания. Так, улучшение смазывающих свойств базового веретенного масла 60 вследствие введения 2,57% S и 3% китового жира позволило уменьшить на 50% остаточные напряжения в поверхностном слое и примерно на 40% шероховатость обработанной поверхности при шлифовании мартенситной коррозионно-стойкой стали (0,54% C, 16% Cr) при струйно-напорном способе подачи СОЖ под давлением 1,8 МПа.

Поверхностно-пластическое деформирование. Смазывающие свойства СОЖ оказывают влияние на стойкость обкатывающих роликов и шероховатость поверх-

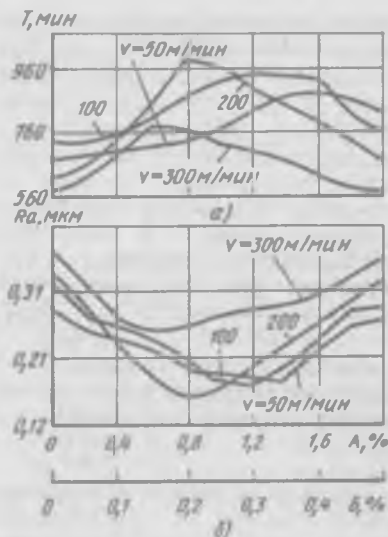


Рис. 5. Стойкость T обкатывающих роликов при различном содержании глицерина А в шлифовальном круге В в составе СОЖ (а); влияние этих составов на высоту микронеровностей обработанной поверхности Ra при различных скоростях обработки (б)

ностей низколегированных сталей.

Совмещенную чистовую операцию резания и обкатывания наружной рабочей поверхности гидроцилиндров из стали 45 диаметром 40 мм, длиной 1100 мм выполняли на токарно-винторезном станке 1Д350. Режущая обкатывающая головка имела проходной резец Т30К4, за которым находился обкатной блок из четырех роликов. Диаметр роликов 18,7 мм, длина 35 мм. Режим обкатывания: натяг $t=0,15$ мм; $S_0=0,8$ мм/об; $v=50-300$ м/мин. Испытания прекращали после появления рисунка на обработанной поверхности. Исследования показали, что на выбор оптимального состава СОЖ влияет скорость

обкатывания. Отмечена согласованность результатов испытаний на машине трения и станке. Введение в СОЖ 0,6—0,9% глицерина и 0,2—0,3% диэтиленгликоля повысило несущую способность исследуемых составов на 30—40%, позволило увеличить стойкость роликов и уменьшить шероховатость обработанной поверхности (рис. 5). Аналогичные результаты получены при обработке сталей 30, 20Х и 40Х.

2. СМАЧИВАЮЩЕЕ И ПРОНИКАЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ СОТС

Смачивание жидкостью поверхностей детали и инструмента является необходимой предпосылкой для оказания смазывающего, моющего, охлаждающего, диспергирующего действия СОЖ. Если жидкость плохо смачивает охлаждаемую поверхность, то возможен только пленочный режим кипения. В этом случае у поверхности твердого тела образуется паровая пленка, которая резко ухудшает теплоотдачу. Наиболее высокие требования к смачивающей и проникающей способностям СОЖ предъявляются при обработке металла с высокой точностью: при разворачивании — чтобы избежать наростов и наливов на режущих кромках инструмента, при суперфинишировании и хонинговании — чтобы не происходило забивания пор брусков шламом и уменьшения сбега.

Степень смачивания жидкостью поверхности твердого тела оценивают по поверхностному натяжению жидкости $\sigma_{т.ж}$ на границе разделов фаз твердое тело — жидкость и по краевому углу сма-

чивания θ . Хорошее смачивание обеспечивается при низких значениях поверхностного натяжения и небольших краевых углах смачивания.

Если краевой угол больше 90° , то считается, что жидкость не смачивает поверхность твердого тела; ее капли не будут проникать в капилляры и трещины. Краевой угол определяется по формуле

$$\cos \theta = (\sigma_{т.г} - \sigma_{т.ж}) / \sigma_{ж.г},$$

где $\sigma_{т.г}$, $\sigma_{т.ж}$, $\sigma_{ж.г}$ — поверхностные натяжения на границе раздела фаз соответственно твердое тело — газ, твердое тело — жидкость, жидкость — газ.

Смачивание жидкостью поверхности зависит от материала твердого тела, микрогеометрии поверхности, химического состава и строения жидкости. Гладкие поверхности лучше смачиваются, чем поверхности, имеющие большие микронеровности и трещины. Чем сильнее взаимодействие контактирующих фаз, тем больше работа адгезии [1]:

$$A_a = \sigma_{т.г} + \sigma_{ж.г} - \sigma_{т.ж} = \\ = \sigma_{ж.г} (1 + \cos \theta).$$

Взаимодействие частиц одной фазы характеризует работа когезии

$$A_k = \sigma_{ж.г} / 2.$$

ПАВ, входящие в состав СОЖ, уменьшают поверхностное натяжение жидкости и улучшают смачивание детали и инструмента. Например, производные предельных углеводородов (жирные спирты и кислоты) и ароматических соединений могут снизить поверхностное натяжение воды на границе с воздухом до $26 \cdot 10^{-3}$ Н/м. Фторзамещенные соединения могут снижать поверхностное натя-

жение воды до еще меньших значений. Коэффициент растекания $S = A_s - 2\sigma_{\text{ж.г.}}$.

При уменьшении поверхностного натяжения $\sigma_{\text{ж.г.}}$ до значения $\sigma_{\text{кр}}$ (критическое поверхностное натяжение смачивания) происходит переход от ограниченного смачивания твердого тела к полному.

При полном смачивании коэффициент $S > 0$. В этом случае работа адгезии примерно в 2 раза больше поверхностного натяжения жидкости. Значения поверхностного натяжения некоторых жидкостей приведены в табл. 13.

Смачивающая способность водных СОЖ пропорциональна поверхностной активности $\left(-\frac{d\sigma_{\text{ж.г.}}}{dC}\right)$

ПАВ:

$$W = (A_s / \sigma_{\text{ж.г.}}^2) \left(\frac{d\sigma_{\text{ж.г.}}}{dC} \right),$$

где C — концентрация ПАВ. Если ПАВ образует в водном растворе мицеллы, то уравнение справедливо в области концентраций ниже критической концентрации мицеллообразования.

Смачивающая способность ПАВ увеличивается с ростом асимметрии в строении молекул. Способность изменять краевые углы увеличивается при переходе от орто- к мета- и парапроизводным ароматических соединений. Увеличение количества полярных групп в молекуле уменьшает ее асимметрию, ослабляет смачивающую способность. Различные случаи смачивания можно разделить на две группы: смачивание под действием молекулярных сил (физическое или обратимое смачивание); смачивание с преобладанием сил химического взаимодей-

13. Поверхностное натяжение жидкостей на поверхности раздела жидкость — пар

Жидкость	Температура, °C	Поверхностное натяжение, мН/м
Вода	20	72,9
	30	71,4
Глицерин		
1%-ный раствор ТМ*	18	62,5
кислоты:		
бутановой	—	44,0
гексановой	—	44,0
октановой	—	46,5
нонановой	—	39,0
смесей СЖК:		
C ₇ —C ₉	—	37,2
C ₁₀ —C ₁₂	—	41,8
C ₁₃ —C ₁₆	—	38,7
5%-ные водные эмульсии:		
Аквол-2	—	36,0
Аквол-6	—	31,6
Масляные СОЖ:		
MP-1y	20	32,2
MP-3	20	31,2
MP-6	20	33,2
MP-7	20	32
MP-10	20	25,7
ОСМ-3	20	30,3
И-20А	20	32
Масло касторовое	18	36,4
Бензол	20	28,9
Олеиновая кислота	65	28,6
Бутиловый спирт	20	24,6
Керосин	—	25,2
Четыреххлористый углерод	25	26,4

Металлы (в расплавленном состоянии):

Ртуть	20	486,5
Никель	1250	1850
Медь	1300	1226
Золото	1300	1100
Железо	При T _{пл}	1880
Свинец	При T _{пл}	1800

* ТМ — триэтаноламинные мыла алифатических карбоновых кислот.

ствия (химическое смачивание).

При физическом смачивании температура обычно слабо влияет на краевой угол, при химическом — краевой угол резко уменьшается при нагревании до определенной (в зависимости от системы) температуры, так как повышение температуры активизирует химические реакции, диффузионные процессы и т. п.

Смачивание инструмента и обрабатываемого материала в процессе обработки происходит в динамических условиях. Скорость смачивания можно оценить по скорости растекания капли жидкости по горизонтальной поверхности твердого тела в течение определенного времени. При проведении исследований применяют скоростную киносъемку. Скорость растекания жидкости по шероховатой поверхности зависит от вязкости жидкости ν , поверхностного натяжения $\sigma_{ж.г}$, высоты микронеровностей и формы их поперечного сечения.

Исследование кинематики растекания капли жидкости вдоль канавки, прорезанной резцом на пластинах из разных материалов, показало, что кривые растекания имеют два участка с различным углом наклона к оси времени:

$$l = f(\tau),$$

где l — расстояние от фронта жидкости в канавке до периметра капли, τ — время;

$$l = A_1 \tau^{n_1},$$

где $n_1 = 1 + 0,1$; $n_2 = 0,5 \pm 0,05$; A — коэффициент пропорциональности;

$$A_1 \sim \sigma_{ж.г} h / \nu;$$

$$A_2 \sim (\sigma_{ж.г} h / \nu)^{0,55 \pm 0,05},$$

здесь h — глубина канавки.

При уменьшении скорости растекания СОТС по поверхности твердого тела замедляется скорость развития микротрещин.

Теплота, выделяемая при смачивании единицы поверхности твердого тела, есть теплота смачивания, характеризующая количественно некоторые свойства твердых и жидких поверхностей, например их полярность, гидрофильность и гидрофобность.

Скорость растекания возрастает с увеличением движущей силы растекания:

$$\Delta\sigma = \sigma_{ж.г} (\cos \theta_0 - \cos \theta_1),$$

где θ_0 и θ_1 — краевые углы соответственно равновесный и динамический (динамический краевой угол зависит от времени растекания жидкости по поверхности).

СОТС может попасть в зону резания в результате термодиффузионных процессов через искаженную кристаллическую решетку по капиллярам и микротрещинам, которые развиваются в стружке в результате больших пластических деформаций (плотность металла, перешедшего в стружку, на 2—3% меньше плотности исходного металла); через разрывы в сплошности контакта инструмента, стружки и детали из-за несовпадения частот, фаз и амплитуд вибраций инструмента и детали (колебания детали обычно низкочастотные, а инструмента — высокочастотные); вследствие вакуумного (насосного) действия периодически срывающихся с передней и задней поверхностей инструмента частиц налипов и наростов; под влиянием электрических сил, образующихся при скольжении дислокаций в процессе резания.

Действие СОТС ограничивается периферийной зоной вокруг площадки схватывания, в которой возникает прерывистый контакт. Некоторые технологические среды, например кислород воздуха, резко уменьшают площадь пластического контакта.

СОТС попадает в зону стружкообразования в основном через боковую границу контакта стружки с передней поверхностью инструмента. Капля воды, поднесенная в процессе резания к боковой границе контакта, мгновенно устремляется под стружку под действием сил химического взаимодействия с ювенильными поверхностями. Происходит химическое смачивание, которое является необратимым в отличие от физического (обратимого) смачивания, обусловленного действием молекулярных сил.

Капиллярное давление в микротрещине с радиусом или эквивалентным радиусом определяется по формуле

$$p_k = 2\sigma_{\text{ж.г}} \cos \theta / r.$$

Проникающее действие СОЖ увеличивается при струйно-напорном способе ее подачи, так как растет разность давлений на поверхности раздела фаз жидкость—газ. Скорость движения жидкости в капиллярах резко возрастает под действием высокочастотных колебаний (в частности при наложении ультразвуковых колебаний).

На проникающие свойства СОТС оказывают влияние размер молекул, атомов, ионов и их подвижность. Высокую проникающую способность имеют анионы галогенов (иода, фтора, хлора). Сложные молекулы органических веществ обладают намного худшим проникающим действием

ввиду большого размера молекул и длины их связей. Более хорошее смачивание зоны стружкообразования может объясняться также образованием при резании электрического поля, потенциал которого изменяется пропорционально скорости пластической деформации сдвига и средней длине пробега дислокации.

Поверхностное натяжение на границе раздела фаз жидкость—газ и жидкость—жидкость рекомендуется определять следующими методами: взвешивания капли, отрыва кольца, пластинки Вильгельми и др.

Методика измерения по первому методу заключается в формировании капли исследуемой жидкости на конце трубки с капилляром. Капли собирают в контейнер, взвешивают и определяют массу m_k одной капли из формулы $\sigma_{\text{ж.г}} = m_k / (2\pi r)$, где r —радиус трубки.

При измерении поверхностного натяжения по методу отрыва кольца определяется сила отрыва тонкого кольца от поверхности жидкости.

По методу пластинки Вильгельми измеряется сила отрыва от поверхности жидкости тонкой пластинки из стекла или платиновой фольги:

$$P_0 = m_n + U\sigma_{\text{ж.т}},$$

где m_n —масса сухой пластинки; U —периметр пластинки.

Влияние смачивающих и проникающих свойств СОТС на процесс резания

С уменьшением угла смачивания и увеличением скорости растекания жидкости по поверхности твердого тела уменьшается рабо-

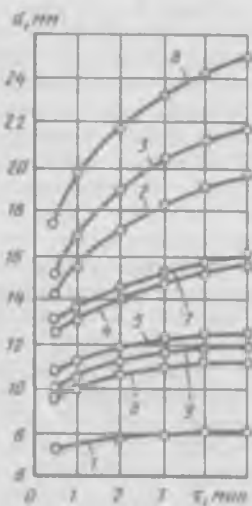


Рис. 6. Кинематика растекания нормированной капли СОЖ по поверхности абразивного материала (d — диаметр пятна; t — время растекания):

1 — дистиллированная вода; 2 — 1%-ный раствор кальцинированной соды; 3 — 1% кальцинированной соды и 0,5% нитрата натрия; 4 — 3%-ный раствор Аквол-10; 5 — 3%-ный раствор Аквол-11; 6 — 3%-ная эмульсия Укринол-1; 7 — МР-2У; 8 — ОСМ-1; 9 — вазелиновое масло

та диспергирования и снижается сила резания.

На рис. 6 показано изменение диаметра пятен, образованных нормированными каплями СОЖ при их растекании по поверхности электрокорунда белого в течение 5 мин. Эксперименты проводили с синтетическими, полусинтетическими, эмульсионными и масляными СОЖ и дистиллированной водой. При глубине резания 0,015 мм сила резания уменьшилась в 1,75 раза при зернистости абразивного материала 40, в 1,85 раза — при зернистости 25 и в 2 раза — при зернистости 16. Чем больше зернистость, тем ме-

ньше развита поверхность, тем меньше ее площадь и меньшее количество жидкости адсорбируется на ней. Увеличение скорости резания с 5 до 25 м/с привело к снижению сил резания в среднем в 1,6 раза.

Исследование влияния смачивающей способности СОЖ на процесс диспергирования материала абразивного круга при правке показало, что с увеличением зернистости абразивного материала уменьшается влияние СОЖ на процесс резания. Эксперименты проводили при микрорезании алмазным индентором абразивных кругов из белого электрокорунда.

Смачивающие свойства СОЖ оказывают влияние на технологические показатели процесса суперфиниширования деталей подшипников.

Существует взаимосвязь между такими физико-химическими параметрами СОЖ, как растекание, поверхностное натяжение, краевой угол смачивания θ , работа адгезии, коэффициент растекания S , и технологическими параметрами: производительностью обработки и износом инструмента, съемом металла в единицу времени и режущей способностью абразивных брусьев.

3. ОХЛАЖДАЮЩИЕ СВОЙСТВА СОЖ

Основными источниками теплоты в процессе резания являются зона стружкообразования и те участки передней и задней поверхностей инструмента, которые контактируют с обрабатываемой деталью и стружкой. Тепловыделение возрастает с увеличением скорости резания и в меньшей степени с увеличением подачи

и глубины. Выделение теплоты при обработке пластичных материалов (сталей) больше, чем при обработке хрупких (чугунов).

Охлаждающие свойства СОТС оказывают влияние на стойкость инструмента, точность обработки, шероховатость поверхности (в большей степени при наростообразовании), остаточные напряжения в поверхностном слое и на радиус закругления витков стружки. Охлаждающие свойства СОЖ зависят от их состава, физико-химических и теплофизических параметров. Органические и минеральные соли могут уменьшать устойчивость паровой пленки, играющей роль теплового барьера, и изменять температуру перехода от пузырькового режима кипения жидкости к пленочному. СОЖ, хорошо смачивающая поверхность металла, обеспечивает большую площадь теплопереноса при обработке металлов резанием.

На охлаждающую способность СОЖ влияют вязкость, теплопроводность, удельная теплоемкость, теплота испарения. При подборе СОЖ по охлаждающему действию необходимо принимать во внимание, что для каждого инструментального материала существует оптимальная температура, обеспечивающая максимальную стойкость инструмента. Например, для быстрорежущих сталей Р6М5, Р9, Р18 повышение размерной стойкости инструмента достигается при температуре 297 °С, для твердых сплавов ВК8 и Т15К6 — при 197 и 777 °С.

Улучшение охлаждающих свойств СОТС позволяет увеличить стойкость инструмента при обработке металлов с интенсивным выделением теплоты на вы-

соких скоростях резания, когда температура резания близка к критической. СОЖ снижает температуру резания при лезвийной обработке со скоростью до 150 м/мин. При более высоких скоростях резания СОЖ только стабилизирует температуру обрабатываемой заготовки.

Стойкость T инструмента связана с температурой t в зоне резания степенной зависимостью:

$$T = \frac{C}{t^n},$$

где C — коэффициент.

Например, при точении напроход стали 9ХС резцами из твердого сплава Т15К6 с толщиной среза 0,1 мм снижение средней температуры стружки с 700 до 600 °С увеличило стойкость инструмента с 60 до 90 мин.

Снижение температуры инструмента и детали в процессе резания повышает точность обработки вследствие уменьшения температурных деформаций.

Теплообмен с СОЖ уменьшает радиус завивания стружки, так как приводит к разным тепловым удлинениям наружной и прирезцовой сторон стружки. Интенсивное охлаждение обрабатываемой детали позволяет избежать приваривания стружки к инструменту, обеспечивает снижение сил резания. Известен способ низкотемпературного шлифования меди, погруженной в ванну с жидким азотом при температуре -70 °С.

Охлаждение СОЖ может иметь и отрицательные последствия: при прерывистом резании (фрезеровании, строгании) твердосплавным инструментом, работающим при высокой скорости резания, применение СОЖ приводит к значительным колебаниям температу-

ры режущей части инструмента и уменьшению его стойкости. Интенсивное охлаждение поверхности детали приводит, как правило, к образованию внутренних напряжений растяжения, что ухудшает эксплуатационные свойства детали.

Снижение температуры в зоне резания вследствие охлаждения может увеличить силы резания, так как температура влияет на прочность металла.

В зоне низких скоростей резания интенсивность изнашивания инструмента зависит от интенсивности наростообразования, т. е. от температуры резания и физико-механических свойств обрабатываемого материала. На определенных режимах резания применение СОТС может увеличить износ инструмента из-за смещения экстремума изнашивания в сторону более высоких скоростей резания.

Снижение температуры резания при применении СОЖ достигается

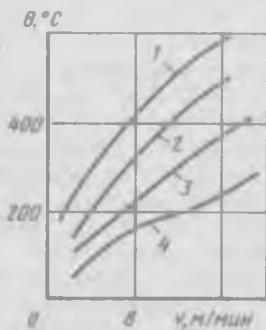


Рис. 7. Влияние способа подвода СОЖ на температуру сверления стали 12Х18Н9Т при различных скоростях резания ($d=19$ мм; $S_0=0,19$ мм/об):

1—без СОЖ; 2—подача эмульсии поливом; 3—подача СОЖ через внутренние каналы в сверле при обычном давлении; 4—то же, что и поз. 3, но при давлении 5 МПа

в основном вследствие активного отвода теплоты с незапятнанных стружкой поверхностей инструмента, примыкающих к зоне резания. Увеличение интенсивности отвода теплоты от стружки оказывает меньшее влияние на температуру в зоне резания из-за кратковременности контакта стружки с инструментом. Для лучшего отбора теплоты от инструмента в нем создают внутренние полости, содержащие воду, фреон или металлы, имеющие низкую температуру плавления и высокую теплоемкость.

Стойкость резцов с неперетачиваемыми твердосплавными пластинами при применении внутреннего охлаждения повышается на 70—100% по сравнению со стойкостью инструмента, работающего без охлаждения.

Применение внутреннего охлаждения эффективно при сверлении, зенкерованиях, развертывании. Подача СОТС через каналы в инструменте позволяет лучше удалять стружку, снизить теплообмен между стружкой и инструментом, повысить стойкость инструмента.

На рис. 7 показано изменение температуры сверления стали 12Х18Н9Т в зависимости от способа подвода СОЖ. Диаметр сверл 19 мм, подача 0,19 мм/об. Более интенсивно температура снижается при применении внутреннего охлаждения вместо полива. Температура резания значительно снижается при применении высоконапорного охлаждения эмульсией. Подача углекислого газа под высоким давлением через отверстие, расположенное вблизи режущей кромки инструмента, снижает температуру у сопла до нуля. Охлаждение углекис-

лотой уменьшает износ твердосплавного инструмента при обработке титанового сплава и других труднообрабатываемых материалов. Снижение температуры сжатого воздуха, подаваемого в зону резания, с $+40$ до -56 °C увеличило стойкость резцов в 4 раза при обработке стали со скоростью 30 м/мин. Аналогичное повышение стойкости наблюдалось при применении жидкого азота и углекислоты.

Изменение температуры контакта инструмента со стружкой методом естественной термопары показало, что охлаждающее действие СОЖ уменьшается с увеличением толщины стружки и скорости резания.

Интенсивность охлаждения возрастает при применении распыленной жидкости, подаваемой в зону обработки под давлением 0,2—0,4 МПа. Скорость струи распыленной жидкости составляет несколько сотен метров в секунду. Мельчайшие частицы жидкости оказывают охлаждающее действие не только путем теплообмена, но и вследствие испарения. Поэтому распыление струи жидкости рекомендуется применять при обработке труднообрабатываемых материалов, а также в тех случаях, когда необходимо постоянное наблюдение за местом обработки.

Распыление водной СОЖ при шлифовании профильных поверхностей абразивным кругом ПП 250 × 75 × 13 на плоскошлифовальном станке 3Е711В-1, оснащенный проктором, позволило снизить температуру шлифования в среднем на 65%, количество прижогов — на 50%. Использование масляной СОЖ снизило температуру нагрева на 23%, уменьшило количество прижогов на 30%.

Применение шлифования с подачей СОЖ поливом на станке с проктором невозможно, так как исключается визуальный контроль зоны контакта круга с деталью.

Охлаждение проводили водным раствором, содержащим 0,5% триэтанолamina и 0,3% нитрита натрия, или маслом ОСМ-3. Скорость резания 35 м/с. Продольная подача стола $S_{пр} = 5 - 15$ м/мин; глубина шлифования 0,04—0,2 мм. Поперечная подача $S_{поп} = 0,4 - 1,2$ мм/ход стола. Расход подаваемой водной СОЖ изменялся от 0 до 450 г/ч, расход масляной СОЖ составлял 5 г/ч. Шлифовали образцы прямоугольной формы 200 × 45 × 65 мм из сталей ХВГ (59—63 HRC₂), 45 (42—46,5 HRC₂), и У10А (59—63 HRC₂).

Высокую скорость теплообмена с зоной резания обеспечивают применяемые в качестве технологических сред жидкие металлы, обладающие хорошей теплопроводностью, большей температурой кипения и более высоким коэффициентом теплоотдачи, чем водные и масляные СОЖ.

Оценить охлаждающие свойства СОТС без проведения экспериментов по резанию металлов можно по скорости снижения температуры нагретого образца, погруженного в СОЖ. При проведении экспериментов можно использовать термопару, нагретую до высокой температуры, и с помощью безынерционной аппаратуры регистрировать скорость ее охлаждения в исследуемой СОТС.

Методика расчета охлаждающих свойств СОТС. Удельный тепловой поток q от твердого тела с температурой t_1 к жидкости

определяют по формуле Ньютона

$$q = \alpha (t_r - t_{\pi}),$$

где α — коэффициент теплоотдачи; t_{π} — температура жидкости.

Чем больше коэффициент теплоотдачи, тем лучше СОЖ отводит теплоту от режущего инструмента, стружки и детали. Теплоотвод при резании происходит вследствие конвекции, теплопроводности, излучения и химических реакций, протекающих с поглощением теплоты, т. е. процессов, сопровождающихся сложным тепло- и массообменом.

Теплообмен излучением q_{π} становится значительным при нагреве твердого тела свыше 800 °С:

$$q_{\pi} = \epsilon \sigma_0 t^4,$$

где ϵ — коэффициент черноты, определяемый экспериментально ($0 \leq \epsilon \leq 1$); σ_0 — константа излучения абсолютно черного тела; t — температура излучающей поверхности.

Электронный оже-анализ показывает, что химическое взаимодействие СОЖ с обработанной поверхностью ограничивается тончайшими поверхностными слоями. В большинстве случаев при обработке металлов резанием с применением СОЖ тепловые потоки, связанные с излучением и химическими реакциями, относительно невелики (исключения составляют некоторые полимерсодержащие СОЖ, в которых деструкция полимера происходит с большим поглощением теплоты). Поэтому в расчетах охлаждающего действия СОЖ достаточно ограничиться рассмотрением конвективного теплообмена, т. е. теплообмена, связанного с движением жидкости и теплопроводностью.

На интенсивность передачи теплоты влияет характер движения жидкости (ламинарный или турбулентный), который определяется по числу Рейнольдса:

$$Re = \frac{w D_{\text{экв}}}{\nu},$$

где w — средняя скорость потока жидкости, м/с; $D_{\text{экв}}$ — эквивалентный диаметр, м; ν — кинематическая вязкость жидкости, м²/с.

При $Re \leq 2000$ поток жидкости остается ламинарным. Эквивалентный диаметр зависит от площади S и периметра U поверхности твердого тела (стружки, резца или детали), омываемой СОЖ:

$$D_{\text{экв}} = \frac{4S}{U};$$

средняя скорость потока жидкости

$$w = \frac{Q}{0,06s_0},$$

где Q — расход СОЖ, л/мин; s_0 — площадь трубы, по которой подается СОЖ, мм².

Кинематическая вязкость ν определяется отношением динамической вязкости и плотности жидкости:

$$\nu = \mu / \rho.$$

Конвективный теплообмен между жидкостью и поверхностью твердого тела определяется по числу Нуссельта, которое представляет собой безразмерный коэффициент теплоотдачи:

$$Nu = \alpha D_{\text{экв}} / \lambda,$$

где λ — теплопроводность жидкости, Вт/(м · К).

Физические свойства жидкости характеризуются числом Прандтля

ля, которое представляет собой отношение физических констант:

$$Pr = \nu / a,$$

где $a = c/\rho$ — температуропроводность (c — удельная массовая теплоемкость).

Влияние температуры на физические свойства учитывают с помощью поправки Pr/Pr_{nc} . Число Прандтля Pr находят по температуре СОЖ, подаваемой в зону резания, а Pr_{nc} — число Прандтля в пограничном слое — определяют по физическим свойствам жидкости при температуре твердого тела в зоне контакта с СОЖ.

Средний коэффициент теплоотдачи воздуха или жидкости можно определить по формуле

$$Nu = c Re^n Pr^m (Pr/Pr_{nc})^{0.25}.$$

Обобщения экспериментальных исследований коэффициентов теплоотдачи проволочек и трубок в поперечном потоке воздуха, воды, трансформаторного масла позволили вывести следующие уравнения:

$$\text{при } Re = (5 \div 1) 10^3$$

$$Nu = 0,5 Re^{0.5} Pr^{0.38} (Pr/Pr_{nc})^{0.25}; \quad (9)$$

14. Теплофизические свойства масляных СОЖ при различных температурах [4, 18]

СОЖ	$T, ^\circ\text{C}$	$\nu, \text{мм}^2/\text{с}$	$\rho, \text{кг}/\text{м}^3$	$c_p, \text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$	$\lambda, \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$
MP-1y	20	62,590	872,5	1968	0,1512
	50	16,540	853,6	2067	0,1478
	100	4,235	822,1	2232	0,1421
	150	1,874	790,6	2398	0,1364
MP-2y	20	139,600	879,5	1920	0,1463
	50	26,870	859,2	2027	0,1425
	100	5,545	825,4	2205	0,1361
	150	2,222	791,6	2383	0,1297
MP-3	20	38,82	887,9	1850	0,1280
	50	10,980	867,4	1969	0,1257
	100	3,115	833,3	2167	0,1218
MP-4	20	57,420	943,0	1682	0,1278
	50	13,690	922,0	1753	0,1266
	100	3,912	887,1	1872	0,1246
MP-5y	20	184,600	881,3	1872	0,1481
	50	38,280	860,9	1974	0,1453
	100	8,014	826,9	2143	0,1407
	150	3,168	793,0	2312	0,1361
MP-6	20	139,50	946,3	1910	0,1362
	50	29,050	925,6	2015	0,1334
	100	6,633	891,2	2190	0,1288

Продолжение табл. 14

СОЖ	$T, ^\circ\text{C}$	$\nu, \text{мм}^2/\text{с}$	$\rho, \text{кг}/\text{м}^3$	$\frac{\eta}{\rho} / (\text{кг} \cdot \text{К})$	$\frac{\lambda}{\rho} / (\text{м} \cdot \text{К})$
MP-7	20	94,680	879,2	1892	0,1490
	50	22,790	860,3	1994	0,1457
	100	5,502	828,8	2164	0,1403
	150	2,348	797,4	2335	0,1348
MP-9	20	71,710	893,5	1910	0,1481
	50	19,320	873,8	2015	0,1445
	100	4,829	841,0	2190	0,1385
	150	2,105	808,1	2365	0,1326
MP-10	20	69,980	905,1	1952	0,1493
	50	17,810	883,6	2051	0,1461
	100	4,549	847,9	2217	0,1407
	150	2,006	812,1	2383	0,1353
MP-99	20	124,3	891,6	1881	0,1456
	60	21,23	865,3	2015	0,1414
	100	7,213	839,0	2149	0,1372
	120	4,865	825,8	2216	0,1351
	150	3,029	806,1	2316	0,1320
ОСМ-3	20	14,410	897,2	1800	0,1280
	50	5,257	876,5	1902	0,1246
	100	1,862	842,6	2072	0,1189
	140	1,088	815,3	2208	0,1144
ОСМ-5	20	76,650	924,1	1840	0,1437
	50	18,720	902,4	1930	0,1406
	100	4,633	866,3	2081	0,1354
	150	2,015	830,2	2232	0,1302
ЛЗ-СОЖ-1СП	20	105,300	1006,8	1706	0,1388
	50	21,660	985,0	1881	0,1360
	100	4,737	948,6	1905	0,1320
	150	1,959	912,2	2029	0,1264
ЛЗ-СОЖ-1ПИО	20	91,670	886,2	1889	0,1504
	50	22,500	867,4	1991	0,1470
	100	5,529	836,1	2160	0,1414
	150	2,376	804,7	2329	0,1358
И-12А	20	46,190	867,6	1911	0,1486
	50	13,290	848,1	2012	0,1453
	100	3,778	815,6	2182	0,1398
	150	1,754	783,1	2351	0,1343

15. Теплофизические свойства эмуль-
солов СОЖ в водных эмульсиях [18]

Темпе- ратура, °C	ρ , кг/м ³	ν , мм ² /с	c_p , Дж/ (кг·К)	λ , Вт/ (м·К)	Темпе- ратура, °C	ρ , кг/м ³	ν , мм ² /с	c_p , Дж/ (кг·К)	λ , Вт/ (м·К)
Укринол-1					5%-ная эмульсия				
Концентрат									
20	942,0	335,9	2458	0,1603	20	993,8	1,466	4054	0,5620
40	928,1	106,3	2622	0,1561	40	987,4	0,8909	4057	0,5896
60	886,4	10,61	3115	0,1434	60	978,2	0,6542	4069	0,6115
					100	953,1	0,4349	4112	0,6922
3%-ная эмульсия					10%-ная эмульсия				
20	995,9	1,405	4111	0,5711	20	989,4	1,860	3934	0,5296
40	989,7	0,9042	4113	0,5992	40	982,7	1,064	3945	0,5556
60	980,6	0,6447	4123	0,6216	60	973,2	0,7611	3961	0,5762
100	955,6	0,4128	4164	0,6529	100	947,9	0,4801	4012	0,6062
5%-ная эмульсия					НГЛ-205				
					Концентрат				
20	994,3	1,803	4062	0,5551	20	980,0	294,7	2563	0,2700
40	987,9	1,072	4068	0,5826	40	966,1	91,37	2614	0,2732
60	978,6	0,7166	4082	0,6044	60	952,2	39,22	2665	0,2765
100	953,7	0,4511	4128	0,6349	100	924,3	8,814	2768	0,2830
10%-ная эмульсия					3%-ная эмульсия				
20	990,5	2,327	3944	0,5186	20	996,5	1,048	4129	0,5850
40	983,8	1,385	3958	0,5443	40	990,4	0,6902	4128	0,6133
60	974,3	0,9336	3980	0,5648	60	981,1	0,5059	4135	0,6359
100	949,1	0,5661	4041	0,5933	100	955,1	0,3217	4169	0,6678
Аквол-2					5%-ная эмульсия				
Концентрат									
20	918,2	254,3	2168	0,1467	20	995,6	1,127	4097	0,5758
40	904,2	82,22	2293	0,1444	40	989,1	0,7451	4093	0,6036
60	890,1	34,33	2419	0,1422	60	979,9	0,5412	4101	0,6259
100	862,1	7,106	2669	0,1378	100	953,5	0,3509	4137	0,6571
3%-ная эмульсия					10%-ная эмульсия				
20	995,6	1,275	1103	0,5761	20	994,7	1,422	3998	0,5543
40	989,0	0,8232	4104	0,6042	40	987,9	0,9228	4000	0,5809
60	980,2	0,6015	4113	0,6267	60	978,1	0,6655	4010	0,6021
100	955,2	0,3851	4152	0,6582	100	951,8	0,3944	4050	0,6320

для воздуха эта формула упроща-
ется и принимает вид:

$$Nu = 0,43 Re^{0,5};$$

при $Re = 1 \cdot 10^3 \div 2 \cdot 10^5$

$$Nu = 0,25 Re^{0,6} Pr^{0,38} (Pr/Pr_{\infty})^{0,25}, \quad (10)$$

для воздуха

$$Nu = 0,216 Re^{0,6}.$$

Уравнения (9) и (10) позволяют определить влияние теплофизических свойств СОЖ (табл. 14, 15) на коэффициент теплоотдачи, который увеличивается с возрастанием теплопроводности и скорости движения жидкости и уменьшается с увеличением площади охлаждаемой поверхности, температуропроводности и динамической вязкости жидкости. Коэффициент теплоотдачи зависит также от температуры пограничного слоя. С увеличением плотности теплового потока или разности температур между твердым телом и жидкостью на поверхности твердого тела возникают паровые пузырьки, которые улучшают процесс теплоотдачи. При переходе от пузырькового кипения к пленочному пузырьки пара сливаются в сплошной паровой поток. Коэффициент теплоотдачи снижается, так как паровой слой обладает относительно низкой теплопроводностью.

Теплоотдача при кипении определяется по формуле

$$\alpha_1/\alpha = \sqrt{1 + (\alpha_{00}/\alpha)^n},$$

где α_1 — коэффициент теплоотдачи кипящей жидкости; α — коэффициент теплоотдачи при отсутствии кипения; $\alpha_{00} = Cq^{0,1}$ — коэффициент теплоотдачи при развитом кипении, когда уже нет влияния скорости течения жидкости (C — коэффициент пропорциональности, зависящий от давления; $C = 3,2$ при $p = 10 \cdot 10^{-5}$ Па для условий кипения воды в чистой трубе; q — тепловой поток).

Теплофизические характеристики жидкостей при высоких тем-

пературах мало изучены, что затрудняет расчет коэффициента теплоотдачи по формулам (9) и (10). Отношение в этих уравнениях $(Pr / Pr_{mc})^{0,25}$ можно представить в виде поправочного коэффициента K_1 , значения которого при обработке резанием изменяются от 1,5 до 2. В этом случае при течении жидкости с $Re = (5 \div 1) 10^3$

$$Nu = 0,5 K_1 Re^{0,5} Pr^{0,38},$$

$$с Re = 1 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^5$$

$$Nu = 0,25 K_1 Re^{0,6} Pr^{0,37}.$$

Расчеты по приведенным выше зависимостям показывают, что при применении масляных СОЖ вместо водных коэффициент теплоотдачи снижается в 5—8 раз. При применении водных СОЖ силы трения и пластические деформации при резании металла, а следовательно, и связанные с ними тепловые потоки увеличиваются. Поэтому температура в зоне резания будет снижаться не прямо пропорционально коэффициенту теплоотдачи, а по более сложной зависимости.

Переходом от пузырькового кипения к пленочному можно объяснить возрастание температуры резания через несколько секунд после подачи СОЖ. Точение заготовки из стали 30ХГСА проводили твердосплавным резцом из ВК8. Температура резания в первый момент подачи СОЖ снижалась с 830—850 °С до 600—650 °С, а через 3—4 с поднималась до 780—800 °С и стабилизировалась на этом уровне. Сплошной паровой слой можно разорвать путем подачи струи СОЖ под давлением, механическим разрушением, воздействуя на него ультразвуковыми колебаниями.

4. МОЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ СОЖ

Моющая способность СОЖ определяется степенью очистки обрабатываемой детали и инструмента в зоне резания от шлама, содержащего мелкие частицы стружки, обрабатываемого металла, инструмента (карбидов и неметаллических включений), которые удерживаются на поверхности твердых тел электростатическими, Ван-дер-Ваальсовыми и механическими силами.

Чем меньше частички шлама, тем легче они проникают в микронеровности инструмента и детали и тем прочнее удерживаются на поверхности твердого тела, ухудшая технологические показатели процесса обработки. При плохой очистке СОЖ шлам может осаждаться на поверхностях деталей непосредственно из жидкости, загрязняя их и затрудняя контроль.

Твердые частицы, попадая в зону контакта инструмента и детали, вызывают повышенный износ рабочих поверхностей инструмента, ухудшают микрогеометрию обработанной поверхности. При обработке глубоких отверстий применение СОЖ с плохими моющими свойствами может привести к заклиниванию стружки и к поломке инструмента.

Высокими моющими свойствами должны обладать СОЖ, используемые при сверлении глубоких отверстий, при нарезании резьбы в глухих отверстиях. Требования к моющей способности СОЖ возрастают с уменьшением зернистости абразивного инструмента, так как уменьшаются расстояния между зернами и размеры пор, которые легко забива-

ются шламом. Моющие свойства СОЖ оказывают большое влияние на изнашивание инструмента даже при черновой обработке.

Эффективным моющим действием обладают ПАВ, хорошо смачивающие и адсорбирующиеся на границе раздела твердое тело—жидкость и уменьшающие поверхностное натяжение жидкости на границе раздела фаз. Образуемые пленки уменьшают адгезию шлама к поверхности инструмента и детали.

Получение количественных зависимостей для определения моющей способности СОЖ представляет значительные трудности, так как эффективность моющего действия зависит от состава шлама, метода обработки, микрогеометрии поверхности, материалов инструмента и детали, дисперсности частиц.

Моющую способность СОЖ можно оценить косвенным методом по физико-химическим свойствам: поверхностному и межфазному натяжению, скорости растекания по поверхности, эмульгирующей и диспергирующей способности—или прямым, основанным на измерении суммарного количества загрязнения, удаленного за определенный промежуток времени, степени очистки поверхности от загрязнения (в процентах) и коэффициента отражения света от светлых поверхностей, который можно определить фотометрически. Моющий потенциал масел с присадками определяется по ГОСТ 10734—64⁹. При испытании моющей способности СОЖ в качестве образцов обычно используют металлические пластины, замасленные или загрязненные шламом и просушенные при высокой температуре. Мойку

образцов проводят струей жидкости или в ванне методом погружения при заданной температуре жидкости. Циркуляция жидкости обеспечивается механической мешалкой. Для приближения условий исследования моющего действия СОЖ к реальным условиям обработки загрязнителя на пластину можно наносить абразивным брусом или шлифовальной шкуркой, которые обеспечивают съем окислов и образование химически активной поверхности. Для повышения точности измерения количества загрязнителя, остающегося на пластине после промывки в СОЖ, пластину целесообразно промыть в ультразвуковой ванне с бензином. Пропустив бензин через белый фильтрующий элемент, по степени загрязнения последнего путем сравнения с эталоном определяют эффективность моющего действия СОЖ.

Моющее действие СОЖ увеличивается с возрастанием скорости движения и температуры жидкости, при подаче струи под давлением. Общее представление о наличии моющего, смачивающего, эмульгирующего действия отдельных компонентов СОТС дает система гидрофильно-липофильного баланса (ГЛБ), учитывающая соотношение между полярными и неполярными группами молекул. В системе ГЛБ все группы, входящие в состав ПАВ, имеют групповое число, которое изменяется от 0 до 40. Их значения приведены ниже.

Гидрофильные группы	Групповые числа
SO_4Na	38,7
$-\text{COOK}-$	21,1
$-\text{COONa}-$	19,1
N (четвертичных аминов)	9,4

Эфир (сорбитановое кольцо)	6,8
Эфир (свободный)	2,4
$-\text{O}-$	1,3
$-\text{COOH}-$	2,1
$-\text{OH}-$ (свободный) ..	1,9
$-\text{OH}-$ (сорбитановое кольцо)	0,5
Липофильная группа:	
$-\text{CH}-$, $-\text{CH}_2-$, ...	
$-\text{CH}_3-$	0,475
Производные группы:	
$-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}-$	0,33
$-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}-$	0,15

ГЛБ ПАВ определяется по формуле $\text{ГЛБ} = \Sigma \text{ гидрофильных групповых чисел} + \Sigma \text{ гидрофобных групповых чисел} + 7$.

Влияние диапазона чисел ГЛБ на свойства жидкостей следующее: 3,5—6,0 — эмульгаторы, стабилизирующие эмульсии вода/масло; 7—9 — смачиватели; 8—18 — эмульгаторы, стабилизирующие эмульсии масло/вода; 13—15 — моющие агенты; 15—18 — солюбилизаторы.

Все моющие компоненты, входящие в состав СОЖ, можно разделить на три группы: анионные, катионные и неионогенные. К первой группе относятся сульфаты, сульфанола, алкилсульфонаты, соли жирных кислот (обычные мыла), которые диссоциируют в воде с образованием ионов. Катионоактивные вещества реже используются в СОЖ, чем анионоактивные. Неионогенные ПАВ образуют длинноцепочечные молекулярные растворы. Хотя неионогенные ПАВ не являются электролитами, в их молекулах имеются полярные и неполярные группы. Из неионогенных ПАВ и СОЖ используются оксигенилированные высшие жирные спирты, полиэтиленгликоли, алкилоламиды, синтамыды, синтанолы, смачиватели ОП-7, ОП-10. Присутствие в воде

0,15—0,2% смачивателя ОП-7 или ОП-10 снижает ее поверхностное натяжение с 72 до 40 мН/м. С увеличением содержания ПАВ моющая способность СОЖ сначала возрастает, а затем начинает уменьшаться. Многие моющие агенты при концентрации выше 0,1—0,5% в воде образуют пены, что недопустимо. Изменяя состав и количество ПАВ в СОЖ, можно варьировать их моющими свойствами в широких пределах.

5. РЕЖУЩЕЕ И ПЛАСТИФИЦИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЯ СОТС

Под режущими свойствами СОТС понимают способность технологической среды облегчать разрыв связей в обрабатываемом материале при внедрении инструмента. Эти свойства приводят к повышению стойкости инструмента и облегчению процесса резания, позволяют интенсифицировать режимы обработки.

Под пластифицирующими свойствами СОТС понимают способность технологической среды облегчать пластическое деформирование металлов. Эти свойства приводят к локализации пластической деформации в тонком поверхностном слое обрабатываемого материала. Образующийся размягченный слой выполняет роль смазочного материала и препятствует налипанию обрабатываемого металла на инструмент. Благодаря пластифицирующему действию СОТС уменьшается трение между инструментом и стружкой, инструментом и формируемой поверхностью, снижаются избыточные деформации в стружке и обрабатываемом изделии, что позволяет снизить силу резания и улучшить качество получа-

емой поверхности. Особенно велика роль пластифицирования при обработке металлов давлением.

В основе проявления пластифицирующего и режущего действий СОТС лежит эффект Ребиндера, представляющий собой совокупность явлений, заключающихся в изменении механических свойств твердых тел под влиянием поверхностных физико-химических процессов, вызывающих снижение поверхностной энергии твердого тела [10].

Согласно критерию Гриффитса прочность хрупкоразрушающегося материала (сопротивление отрыву при одноосном растяжении) пропорциональна его поверхностной энергии $\sigma^{1/2}$. Снижение поверхностной энергии σ_0 до величины σ_A приводит к уменьшению исходной прочности в $(\sigma_0/\sigma_A)^{1/2}$ раз.

Для пластичных материалов справедливо качественное заключение о том, что снижение прочности тем больше, чем сильнее уменьшена поверхностная энергия. На микроуровне эффект Ребиндера заключается в облегчении элементарных разрывов и перестройке межатомных связей при участии инородных атомов, частично экранирующих межатомные взаимодействия. Термодинамическое условие проявления эффекта заключается в том, что интенсивность поверхностных взаимодействий должна быть соизмерима с энергией связи между атомами, ионами или молекулами, составляющими твердое тело. Таким образом, понижения прочности следует ожидать тогда, когда свободная энергия поверхностного взаимодействия будет соизмерима с поверхностной энергией твердого тела.

Термодинамически условие реализации эффекта Ребиндера при механической обработке заключается в выполнении условия [9]:

$$L_m - E_{\text{м}} \geq 0,$$

где L_m — энергия сублимации обрабатываемого материала; $E_{\text{м}}$ — энергия разрыва хемосорбционной связи металл—адсорбированная молекула.

Для заметного снижения прочности большинства материалов, используемых в технике, достаточно, чтобы свободная энергия поверхностного взаимодействия составляла 50—100 кДж/моль.

Эффект Ребиндера наблюдается в различной степени для твердых тел всех типов и структур. Его проявление связано с многочисленными физико-химическими факторами: химическим составом твердого тела и среды, определяющим характер и интенсивность межатомных взаимодействий; реальной структурой твердого тела; условиями деформации и разрушения. В зависимости от совокупности всех этих факторов эффект Ребиндера может проявляться в различных степенях и формах — от облегчения пластического деформирования до значительного понижения прочности, приводящего к возникновению хрупкости, вплоть до самопроизвольного диспергирования твердого тела на частицы коллоидных размеров.

Уменьшение поверхностной энергии твердого тела, приводящее к изменению его механических свойств, может быть достигнуто различными путями: в результате обратимой адсорбции поверхностно-активных атомов и молекул из окружающей среды, хемосорбции, электрической поляризации поверхности, протекания на по-

верхности химических реакций и особенно при нанесении жидких сред, близких друг другу по молекулярной природе.

Адсорбция. Приближенный расчет показывает, что максимальное снижение поверхностной энергии ($\Delta\sigma$) твердого тела при физической адсорбции не превышает 10% исходного значения. Поэтому адсорбция органических ПАВ может приводить к существенно-му облегчению разрушения веществ с малой энергией связи в решетке, т. е. молекулярных соединений, некоторых ионных кристаллов, легкоплавких металлов, а также полимеров. Адсорбция органических веществ при деформировании металлов вызывает снижение предела текучести и коэффициента упрочнения, сопровождаемое уменьшением расстояния между действующими линиями скольжения дислокаций, что обеспечивает в ряде случаев сильное пластифицирование монокристаллов и поликристаллических металлов. Особенность этих процессов состоит в том, что крупные органические молекулы не могут проникнуть в объем твердого тела и их действие ограничивается только его поверхностью; при этом наибольшее действие вызывает мономолекулярный слой ПАВ.

При резании широкое использование в составе СОТС нашли соли и эфиры высших непредельных кислот. Наличие полярных групп, непредельных связей и длинного углеводородного радикала предопределяет их высокую адсорбционную способность, что влияет на повышение стойкости режущего инструмента как вследствие проявления эффекта Ребиндера, так и в результате

16. Влияние добавок к нитритно-содовому раствору на стойкость режущего инструмента при точении стали Х18Н9Т

СОЖ	Стойкость T , мин. режущего инструмента при следующих режимах резания	
	$v=0,1$ м/с; $S_0=0,07$ мм/об; $f=0,4$ мм	$v=0,27$ м/с; $S_0=0,074$ мм/об; $f=1,95$ мм
Нитритно-содовый раствор	29	75
То же, с добавкой олеата триэтаноламина	43	91
То же, с добавкой триэтаноламинового эфира олеиновой кислоты	55	130

Примечание. Концентрация добавки в каждом случае составляла 0,5% (мас. доля).

улучшения смазочных свойств технологической среды. Различие в степени влияния солей и эфиров одних и тех же кислот может быть весьма значительным. В качестве примера приведем данные, полученные при точении стали Х18Н9Т резцами из быстрорежущей стали Р6М5 при введении в состав нитритно-содового раствора олеата триэтаноламина и триэтаноламинового эфира олеиновой кислоты (табл. 16).

При указанных режимах эксплуатации гораздо эффективнее эфир олеиновой кислоты, способствующий большему повышению стойкости резцов. Весьма эффективна (в качестве добавки к товарным водозмульсионным СОЖ) смесь эфиров высших непредельных кислот таллового масла (олеиновой, линолевой, линоленовой) и триэтаноламина, выпускаемая под торговым названием «Эмультал» [12, 13]. В этом случае также обеспечиваются повышение срока эксплуатации и улучшение коррозионно-защитных свойств СОЖ.

Хемосорбция. При механической обработке значительно более энергетически выгодна хемосорбция. При обработке металлов резанием происходит непрерывное обновление ювенильных поверхностей. Атомы, принадлежащие такому поверхностям, обладают активностью и могут вступать в химическое взаимодействие с молекулами органических ПАВ, входящих в состав технологической среды. Поскольку энергия взаимодействия при хемосорбции обычно существенно больше, чем при физической адсорбции, и достигает десятков кДж/моль, компенсация разрыва связей может быть более эффективной и свободная поверхностная энергия твердого тела снижается особенно сильно. Это приводит соответственно к большему снижению прочности обрабатываемого материала и — применительно к процессу резания — к более ярко выраженному пластифицирующему и режущему действию СОТС. Наибольшая интенсивность процесса резания возможна при определен-

ном значении энергии хемосорбции $Q_{\text{ад}}$, соизмеримой с поверхностной энергией $\sigma_{\text{м}}$ обрабатываемого металла [8]:

$$Q_{\text{ад}} = 2KT \ln [12D_0/(zv)],$$

где z — параметр, близкий к размеру зерна в поликристалле; D_0 — предэкспонент в коэффициенте поверхностной диффузии, зависящий от строения материала и скорости миграции адсорбированных атомов по обрабатываемой поверхности; v — скорость перемещения инструмента относительно обрабатываемой поверхности; T — температура; K — константа Больцмана.

Протекание хемосорбционных процессов часто сопровождается механохимическими явлениями, приводящими к образованию активных частиц (радикалов). Обычно протекание механохимических процессов связывают с испусканием экзоелектронов.

Проявлению эффекта Ребиндера способствует также каталитическая активность свежесформирован-

ной металлической поверхности, под воздействием которой галогеносодержащие ПАВ, входящие в состав технологической среды, подвергаются разложению, в ходе которого выделяются свободные галогены, адсорбирующиеся на обрабатываемой детали. Протеканию таких реакций способствует наличие в рабочей среде кислорода и паров воды. Однако при слишком высоком содержании кислорода и повышенной химической активности обрабатываемого металла процесс пассивации препятствует проявлению разупрочняющего действия среды. В результате последующей электрохимической реакции с водой и продуктами ее каталитического превращения может выделяться атомарный водород, способствующий облегчению обработки переходных металлов и их сплавов [8]. Весьма велика роль водорода, выделяющегося при каталитическом разложении органических компонентов СОЖ, при обработке полупроводниковых материалов — кремния и арсенида галлия. Выделяющийся в этом случае водород приводит к повышению интенсивности диспергирования вследствие образования на поверхности дополнительных адсорбционных центров [3].

При использовании в качестве компонентов СОТС органических хлор- и иодзамещенных соединений причина образования активных частиц может быть иной. Влияние галоидзамещенных органических компонентов на эффективность процесса точения с постоянной нагрузкой на резец (эффективность действия СОТС определялась по увеличению продольной подачи по сравнению с обработкой без среды) начинает

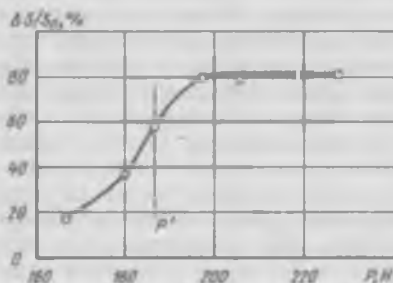


Рис. 8. Зависимость относительного изменения продольной подачи $\Delta S/S_0$ от нагрузки P при точении стали 45 в α -хлортолуоле ($\Delta S = S_1 - S_0$; S_0 , S_1 — продольная подача соответственно на воздухе и в активной среде). Условия испытаний: $v = 2,9 \cdot 10^{-3}$ м/с; $t = 0,8$ мм

проявляться только при превышении некоторой критической нагрузки P' (рис. 8), значение которой зависит от химического строения молекулы активного вещества. При постоянной скорости резания величина P' линейно связана с энергией разрыва (деструкции) связи углерод—галоген по радикальному механизму (рис. 9). Расчет показывает, что при достижении критической нагрузки напряжения в зоне резания достаточны, чтобы разорвать молекулу активного вещества, т. е. при достижении критической нагрузки в зоне резания начинают происходить механохимические процессы, приводящие к образованию активных частиц (радикалов), действие которых вызывает облегчение разрушения и деформирования обрабатываемого металла. Пластифицирующее и режущее действия среды не проявляются при напряжениях, меньше критических, тогда как смазывающее действие СОТС реализуется в более широком диапазоне контактных давлений.

Механохимическими превращениями и протеканием хемосорбционных взаимодействий можно объяснить эффективность некоторых органических жидкостей (олеиновой кислоты, четыреххлористого углерода), широко используемых при обработке металлов, а также органических кислот, спиртов, серо-, хлор-, йод- и фосфорсодержащих соединений, являющихся неизменным компонентом СОТС.

Образование поверхностных соединений. Весьма близко к хемосорбции по характеру и интенсивности энергетического взаимодействия находятся процессы образования поверхностных соеди-

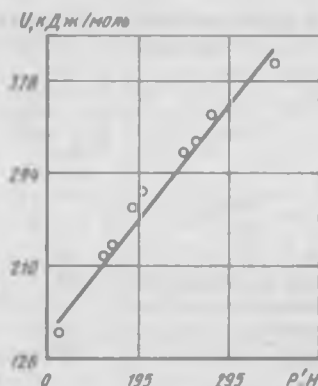


Рис. 9. Зависимость критической нагрузки P' от энергии деструкции U молекул СОТС при точении стали 45 (активные вещества: йод, йодистый гексил, йодистый метил, йодбензол, четыреххлористый углерод, хлороформ, хлористый метил, хлорбензол). Условия испытаний: $v = 2,9 \cdot 10^{-3}$ м/с; $t = 0,8$ мм

нений в результате протекания относительно низкоэнергетических химических реакций—обменных, окислительно-восстановительных и образования координационных соединений. Обычно оказывается достаточным, чтобы свободная энергия реакции составляла 50—100 кДж/моль. Более интенсивное протекание реакции не облегчает обработку в связи с тем, что активные частицы (атомы, ионы, молекулы) прочно присоединяются к поверхности твердого тела и теряют при этом подвижность и способность проникать в вершину зоны предразрушения. Так, при сверлении никеля, поверхностная энергия которого составляет около 63 кДж/моль, наиболее сильное влияние обнаружено при использовании хлоридов ртути и раствора йода в этаноле (табл. 17). Для кварца сильное

17. Влияние различных сред на параметры сверления никеля

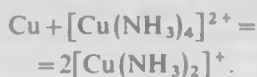
Среда	Концентрация активного вещества, c , моль/л	Продольная подача при сверлении, мм/с		Относительное изменение продольной подачи $\frac{\Delta S}{S_0}$ 100, %	Рассчитанная теплота предпологаемой реакции ΔH_{298}° , кДж/моль
		без охлаждения	в исследуемой среде		
Вода	—	0,18	0,21	16	—
Этанол	—	0,18	0,20	11	—
Раствор I_2 в этаноле	1	0,16	0,53	230	-88
Водные растворы:					
$Hg(NO_3)_2$	0,5	0,18	0,17	-5	-185
$HgCl_2$	0,2	0,20	0,75	275	-92
HCl	1	0,12	0,13	8	+29

влияние обнаруживают щелочные растворы и водный раствор плавиковой кислоты, а для алюмооксидной керамики — некоторые неорганические соли.

Для проявления эффективного действия СОТС нужно довольно значительное содержание активного вещества. При сверлении никеля максимальное действие обнаруживает насыщенный

($C_{max}=20\%$) раствор йода в спирте. Однако для достижения скорости прохождения сверла всего на 20% ниже максимального значения достаточна концентрация, меньшая на порядок (рис. 10).

Весьма высокими пластифицирующими и режущими свойствами в процессах лезвийной и абразивной обработки обладают медно-аммиачные комплексы. Так, при сверлении α -латуни тетрааммиакат меди вызывает двукратное ускорение процесса сверления вследствие протекания низкоэнергетической реакции [7]:



По интенсивности действия медно-аммиачный комплекс приближается к расплаву ртути, которая примерно в 5 раз снижает поверхностную энергию латуни.

Эффективность действия среды проявляется только при определенных, наиболее выгодных условиях испытаний. При сверлении возрастание в определенных пределах осевой нагрузки на инст-

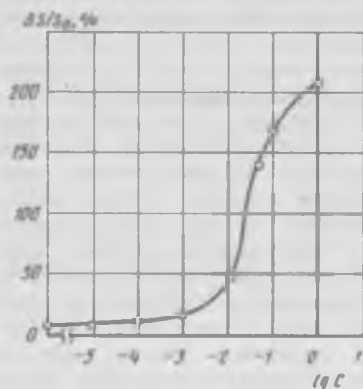
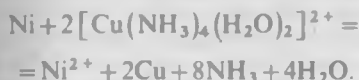


Рис. 10. Зависимость относительного изменения продольной подачи $\Delta S/S_0$ от концентрации C (ось абсцисс — $lg C$) спиртового раствора йода при сверлении никеля. Осевая нагрузка $P=150$ Н

румент приводит к увеличению продольной подачи (рис. 11).

Еще большее влияние медно-аммиачные комплексы оказывают на процесс сверления труднообрабатываемого никель-титанового сплава Нитинол. Комплекс состава $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4(\text{H}_2\text{O})_2]^{2+}$ обеспечивает при оптимальных режимах 30-кратное ускорение обработки (табл. 18). Столь высокая эффективность связана с протеканием низкоэнергетической реакции:



В отличие от случаев обработки с использованием галойдзамещенных органических соединений, когда активация среды наступает при достижении критического напряжения, реакция никеля с медно-аммиачным комплексом является термоактивируемой. Но и в этом случае, как и при сверлении латуни, степень проявления эффекта определяется режимами обработки; при данных гео-

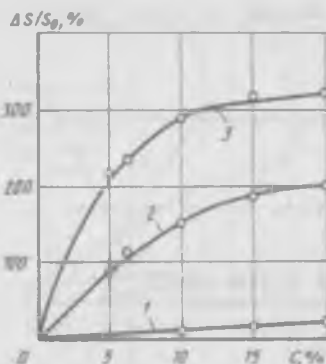


Рис. 11. Зависимость относительного изменения продольной подачи $\Delta S/S_0$ от концентрации C медно-аммиачного комплекса при сверлении латуни. Осьевая нагрузка на сверло P , Н: 1—120; 2—180; 3—240

метрических параметрах инструмента существует область осевых нагрузок на инструмент и скоростей обработки, когда действие среды проявляется наиболее ярко (рис. 12).

Смачивание. Наиболее сильного снижения свободной поверхност-

18. Влияние различных сред на параметры процесса сверления сплава типа Нитинол

Параметр процесса	Среда			
	воздух	эмульсия	олеиновая кислота	тетрааммиакат меди
Продольная подача сверла $S \cdot 10^3$, м/с	1,7	3	5,3	33
Крутящий момент $M \cdot 10^4$, Н м	35	20	3,1	11,1
Удельная работа сверления $A \cdot 10^4$, Дж м ⁻¹	98	29	2,7	1,5
Коэффициент эффективности действия среды K^*	1,0	3,4	36	65

K^* равен отношению удельных работ сверления в среде и на воздухе.

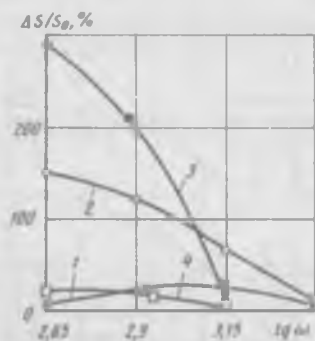


Рис. 12. Зависимость относительного изменения продольной подачи $\Delta S/S_0$ от скорости сверления ω (мин^{-1}) никельтитанового сплава при шлифовании в мешко-аммиачном комплексе при различных осевых нагрузках P , Н: 1—270; 2—440; 3—600; 4—800

ной энергии, а следовательно, и прочности твердых тел удается достичь при их смачивании родственными по физико-химической природе расплавами. Соответственно применению таких поверхностно-активных расплавов может вызывать значительное повышение интенсивности обработки твердых материалов. Так, при обработке металлов и сплавов

резанием весьма высокими режущими, а в некоторых случаях и пластифицирующими свойствами обладают жидкие металлы; в присутствии расплавленных металлов существенно интенсифицируется алмазное шлифование твердых сплавов (табл. 19), удельная работа диспергирования может снижаться при этом более чем в 10 раз [8].

Электрическое заряджение поверхности. Снижение поверхностной энергии твердого тела может быть вызвано также электрическим заряджением поверхности. Соответственно принудительное наложение потенциала может привести к снижению прочности или пластификации металла электрода. В основе этого явления лежит электрокапиллярный эффект, связывающий потенциал электрода ϕ с его поверхностной энергией следующим соотношением:

$$\partial \sigma / \partial \phi = -e_s,$$

где e_s — поверхностная плотность заряда.

В соответствии с электрокапиллярным эффектом наибольшая

19. Влияние расплавов легкоплавких металлов на характеристики прочности и разрушения при шлифовании твердого сплава Т15К6

Среда	Давление шлифования 10^{-5} , Па	Средний съем твердого сплава q , мг/с	Сила трения F , Н	Расходуемая мощность W , Вт	Удельная поверхность продуктов шлифования $S_{\text{уд}}$, м ² /г	Работа диспергирования $A_d \cdot 10^{-2}$, Дж/м ²
Висмут	7,7	31,8	4,8	35,5	20	0,5
Кадмий	7,7	30,0	4,8	35,5	19	0,6
Олово	7,7	19,9	5,6	41,4	19	1,1
Галлий	7,7	14,9	6,4	47,4	14	2,3
	5,6	10,0	4,8	35,5	14	2,5
Вода	7,7	8,9	7,2	53,2	10	6,0
Воздух	5,6	6,0	5,6	41,4	10	7,0

поверхностная энергия соответствует незаряженной поверхности. Образование двойного электрического слоя, т. е. зарядение поверхности, приводит к снижению поверхностной энергии σ , а следовательно, к соответствующему снижению прочности твердого тела. Электрокапиллярный эффект снижения прочности широко изучен при пластическом деформировании моно- и поликристаллов. Так, при деформировании монокристаллов свинца с постоянной нагрузкой в условиях поляризации поверхности образцов в 0,01 н. растворе H_2SO_4 скорость ползучести оказывается минимальной при потенциале нулевого заряда, т. е. при отсутствии электрокапиллярного эффекта понижения свободной поверхностной энергии свинца. При отклонении потенциала на 0,1—0,2 В как в анодную, так и в катодную область скорость пластической деформации возрастает примерно в 2 раза вблизи напряжений, близких к пределу текучести (рис. 13).

Основные закономерности влияния заряжения на механические свойства металлов сохраняются и в условиях интенсивного образования новой поверхности, например при абразивном диспергировании; при этом происходит существенное (до 60%) снижение удельной работы диспергирования [14]. Наложение потенциала от внешнего источника напряжения приводит также к улучшению смачивания диспергируемого металла, что способствует облегчению проникновения среды в зону резания. Полученные результаты положены в основу разработанного способа абразивной обработки электропроводящих мате-

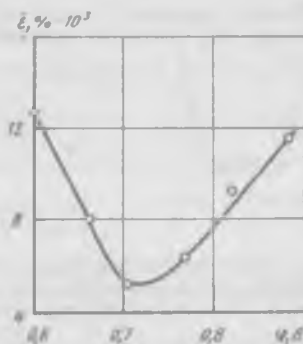


Рис. 13. Зависимость начальной скорости пластической деформации ϵ_0 монокристалла свинца от потенциала поляризации ϕ в 0,01 н. растворе серной кислоты

риалов [15]. Для практического применения электрокапиллярного эффекта при обработке достаточно использовать поляризующие токи плотностью не более 10 мА/см². Так, например, алмазная заточка пластин из сплава Т15К6 кругом 12А2-45АС4 50/40 100 К1-01 в среде электролита при плотности тока 2 мА/см² позволила на 20—60% сократить удельный расход алмаза [11].

Существенное влияние электрокапиллярный эффект оказывает и на качество поверхностного слоя. При шлифовании труднообрабатываемых сплавов ЖС6К-КП и ВТЗ-1 поляризация токами малой плотности способствует значительному уменьшению остаточных внутренних напряжений и шероховатости обработанной поверхности по сравнению с обработкой без поляризации (табл. 20).

По интенсивности влияния на внутренние напряжения такой способ обработки аналогичен шлифованию в электрохимиче-

20. Влияние величины и полярности тока на уровень внутренних напряжений $\sigma_{\text{вн}}$, МПа, и шероховатость обработанной поверхности R_a , мкм

Материал	Параметр обработанной поверхности					
	$\sigma_{\text{вн}}$	R_a	$\sigma_{\text{вн}}$	R_a	$\sigma_{\text{вн}}$	R_a
	Без наложения внешнего тока		С катодной поляризацией ($i = -5 \text{ МА/см}^2$)		С анодной поляризацией ($i = 5 \text{ МА/см}^2$)	
ЖС6К-КП	-26,5	0,40	-1,6	0,30	+0,4	0,11
ВТ3-1	-19,6	1,30	-4,2	0,85	-14,7	0,60

Режимы шлифования: $v_s = 20 \text{ м/с}$; $S_m = 1 \text{ мм/мин}$; $S_{\text{пл}} = 0,02 \text{ мм/дв. ход}$; крут 12А2-45АС4 125/100 100 В1-03. СОЖ—2%-ная эмульсия Укринол-1.

ском режиме, однако шероховатость обработанной поверхности намного меньше при наложении на деталь поляризующих токов малой плотности.

Поскольку токи, используемые при этом способе обработки, невелики, в качестве СОТС, в отличие от электроалмазного шлифования, могут применяться относительно слабоэлектропроводящие водоземulsionные СОЖ и маломощные источники питания. При рекомендуемых режимах обработки изменения химического состава водоземulsionных СОЖ не происходит. Заряджение обрабатываемой поверхности весьма эффективно и при обработке металлов лезвийным инструментом. Обработку можно проводить как в гальваностатическом, так и в потенциостатическом режиме. При точении конструкционных сталей быстрорежущими и твердосплавными резцами катодная и анодная поляризация при малых скоростях резания приводит к практически одинаковому снижению сил резания и стойкости инструмента. При высоких ско-

ростях резания более эффективно отрицательное заряджение поверхности, при этом стойкость инструмента повышается на 40%.

Проявление пластифицирующего и режущего действия СОТС при обработке возможно только при одновременности протекания процессов разрыва и перестройки связей в твердом теле и их компенсации активными компонентами СОТС в результате физико-химического взаимодействия, что означает необходимость присутствия активной среды непосредственно в зоне резания.

Поступление СОТС в зону резания осуществляется с помощью двух процессов. Большую часть пути от внешней границы жидкой фазы с инструментом жидкость преодолевает в результате капиллярного течения по различному рода дефектам, возникающим на границе стружка—резец. В непосредственной близости от зоны резания, в которой размеры зазора близки к размерам молекул, поступление СОТС обеспечивается в результате поверхностной диффузии активного компонента.

Максимальная скорость $v_{\max}$ его миграции от близкорасположенного источника жидкой фазы может быть приблизительно оценена как $v_{\max} = v_0 h \exp[-Q/(KT)]$, где Q — энергия активации поверхностной диффузии; v_0 — частота колебаний атомов; h — параметр решетки обрабатываемого материала; K — константа Больцмана.

При обработке резанием с относительно небольшими скоростями, когда температура жидкой среды незначительно превышает среднюю температуру в зоне резания, $v_{\max}$ определяется главным образом интенсивностью взаимодействия на границе раздела фаз. В этом случае с увеличением интенсивности взаимодействия на границе раздела фаз уменьшается максимальная скорость обработки, при которой среда еще успевает попасть в зону разрушения (например, для иодистого гексила и иодистого метилена такие скорости равны соответственно 17,5 и 13,5 см/с), и при скоростях резания, больших $v_{\max}$, эффективность среды резко падает (рис. 14). Практически энергия активации миграции не должна превышать 20—40 кДж/моль. При этом поверхностная диффузия обеспечивает своевременное поступление активного вещества в зону резания. Однако при работе со скоростями выше 30 см/с влияние среды снова возрастает, что может быть связано с увеличением скорости поверхностной диффузии вследствие повышения температуры в зоне резания.

Преодоление внешнего давления, прижимающего режущую поверхность инструмента к обрабатываемой детали и препятствующего проникновению СОТС в зону резания, обеспечено дву-

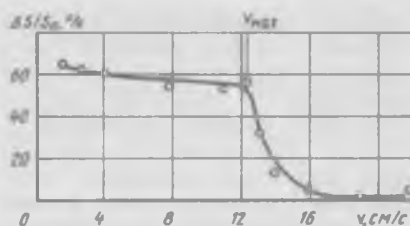


Рис. 14. Зависимость относительного изменения продовой подачи $\Delta S/S_0$ от скорости резания v при точении стали 45 в шпиндельном металлоре

мерным давлением адсорбционных слоев, представляющим собой разность поверхностных энергий чистого материала и покрытого монослоем ПАВ. В случае интенсивно действующей среды двумерное давление может достигать 1000 МПа, что соизмеримо с прочностью обрабатываемого материала и, следовательно, с давлениями, развиваемыми в зоне резания. При обработке высокопрочных материалов в среде относительно небольшой активности может происходить ее вытеснение из зоны резания, и тогда физико-химическое влияние технологической среды (способность вызывать снижение прочности, а также смазывающее и антиадгезионное действия) исчезает, а основная функция СОТС будет состоять лишь в охлаждении инструмента и детали.

Способность технологической среды облегчать и ускорять процесс обработки металлов резанием, т. е. пластифицирующее и режущее действия СОТС, определяется не только выбором СОТС, активной по отношению к данному обрабатываемому материалу, и режимами резания, т. е. термодинамическими и кинетиче-

скими условиями, но и в значительной степени выбором инструмента, его геометрическими параметрами и остротой заточки режущей кромки инструмента. Только оптимальное сочетание всех указанных параметров обеспечивает наиболее яркое проявление эффекта Ребиндера при обработке металлов резанием.

Поскольку среды могут способствовать либо пластифицированию поверхности, либо облегчению процесса разрушения материала, то в зависимости от условий обработки активные среды по-разному влияют на пластифицирующие и режущие свойства СОТС. Так, при выглаживании, дорновании, протягивании деформирующими протяжками большую роль играют пластифицирующие свойства, а при обработке, характеризуемой образованием стружки (точение, сверление, фрезерование, шлифование), — режущие свойства СОТС.

Список литературы

1. Абрамзон А. А. Поверхностно-активные вещества: Справочник. Л.: Химия, 1981. 372 с.
2. Венедиктов В. А. О природе пиков стойкости инструмента при обработке металлов резанием // Трение и износ. 1990. Т. 11. № 1. С. 136—141.
3. Лазюк Ю. Н. Влияние поверхностно-активных смазочно-охлаждающих технологических средств на механическую обработку кремния и арсенида галлия: Автореф. дис. ...канд. хим. наук. М., 1989. 18 с.
4. Малиновский Г. Т. Масляные СОЖ для обработки металлов резанием. М.: Химия, 1988. 192 с.
5. О влиянии химического состава СОЖ на эффективность некоторых противозадирных присадок / Х. О. Охримович, В. П. Темненко, Г. И. Чердниченко и др. // Нефтепереработка и нефтехимия. 1980. № 19. С. 38—41.
6. О природе пиков стойкости инструмента при обработке металлов резанием В. В. Шевель, А. Н. Гладченко, И. В. Шевель и др. // Трение и износ. 1990. Т. 11. № 1. С. 136—141.
7. Перцов Н. В., Володин Ю. В., Перцов А. В. Влияние водных растворов медно-аммиачных комплексов на обрабатываемость латуни // Физико-химическая механика материалов. 1974. Т. 10. № 1. С. 41—44.
8. Перцов Н. В., Яковлев В. М., Лобанов А. В. Повышение эффективности шлифования за счет применения абразивного инструмента с активным наполнителем // Обзорная информация ВНИИТЭМР. Технология, оборудование, организация и экономика машиностроительного производства. Сер. 6. Прогрессивные технологические процессы в машиностроении. М., 1987. 36 с.
9. Перцов Н. В., Яковлев В. М. Роль поверхностных химических взаимодействий в проявлении эффекта Ребиндера при обработке металлов в галогеносодержащих средах // Физика и химия обработки материалов. 1985. № 3. С. 14—20.
10. Ребиндер П. А. Поверхностные явления в дисперсных системах: Избранные труды // Физико-химическая механика. М.: Наука, 1979. 381 с.
11. Рутман П. А. Исследование влияния электрокапиллярного эффекта понижения прочности на процессы микроразрушения и абразивной обработки металлов: Автореф. дис. ...канд. хим. наук. М., 1977. 16 с.
12. Рутман П. А., Лобанцова В. С., Файнштейн И. З., Антонова Н. Г. Способ улучшения эксплуатационных свойств водозмульсионных СОЖ // Вестник машиностроения. 1987. № 12. С. 49—51.
13. Рутман П. А., Лобанцова В. С., Файнштейн И. З. Исследование влияния эмульгатора на эксплуатационные свойства СОЖ // Вестник машиностроения. 1990. № 4. С. 54—56.
14. Рутман П. А., Перцов Н. В. Использование электрокапиллярного эф-

фекта для интенсификации абразивного диспергирования металлов // Физико-химическая механика дисперсных систем и материалов. Киев: Наукова думка. 1983. С. 2.

15. Сифронов В. Г., Рутман П. А., Львов В. Н., Перцов Н. В., Горюнов Ю. В. Способ абразивной обработки: А. с. 916210 СССР, МКИ С 23 Р 1/10.

16. Серов В. А., Дорфман С. Б., Максимова А. И. Универсальные концентраты присадок для СОЖ // Вестник машиностроения. 1982. № 1. С. 25—27.

17. Совместимость присадок различного функционального действия применительно к маслам для резания металлов / В. А. Серов, Г. Т. Малинов-

ский, В. П. Темненко // Химия и технология топлива и масел. 1978. № 3. С. 46—49.

18. Чулок А. И., Лобанова В. С. Термический анализ эффективности действия СОЖ. М.: ВНИИТЭМР, 1988. 40 с.

19. Mould R. W., Silver H. B., Syrett R. J. Investigation of the activity of cutting oil additives // The E Pactivity of Some water based fluids. Part V. Lubrication Engineering. 1977. Vol. 33. N. 6. P. 291—296.

20. Rothwell B., Kuhlsmieren C. Chlorfrei altöl chlor und engsorgungsmoslichkeiten der problemlösung // Maschine und Werkseug. Fertigungstechnik. 1986. Vol. 87. N. 19. P. 56—58, 60, 62, 66.

Глава III. ПРОИЗВОДСТВО СОТС

Современные СОТС для обработки металлов—это сложные многокомпонентные системы органических и неорганических веществ. Самой распространенной технологической средой при обработке металлов являются СОЖ, что обусловлено их более высокими (по сравнению с твердыми и пластичными смазочными материалами) охлаждающей, проникающей и моющей способностями, а также экономичностью и доступностью.

В промышленных масштабах производятся масляные СОТС, эмульсолы, полусинтетические и синтетические СОТС, смазки и пасты.

Масляные СОТС представляют собой высокоочищенные минеральные масла вязкостью 2—40 мм²/с при 50 °С без присадок или с присадками различного функционального назначения.

Масляные СОТС изготавливают простым смешением компонентов (базового масла и присадок) без химического их взаимодействия до образования однородной жидкости.

Эмульсолы представляют собой подобранные специальным образом (сбалансированные) смеси минеральных масел, эмульгаторов, веществ-связок, ингибиторов

коррозии и других компонентов. Технологические схемы их производства помимо смешения различных ингредиентов часто включают также стадии получения отдельных компонентов (продукты омыления, осернения и др.).

Полусинтетические и синтетические СОТС—сравнительно новые классы жидкостей, имеющие преимущества перед эмульсолами по стабильности, сроку службы, прозрачности рабочих растворов. Концентраты таких СОТС в своем составе содержат 25—50% воды.

Синтетические СОТС не содержат в своем составе минеральных масел. Существуют две группы синтетических СОТС—на основе водорастворимых полимеров и на основе композиций ПАВ. Для улучшения антикоррозионных, противопенных и некоторых других свойств к этой основе добавляют антикоррозионные, противопенные и другие присадки.

Полусинтетические СОТС занимают промежуточное положение между эмульгируемыми маслами (эмульсолами) и синтетическими жидкостями. Содержание минеральных масел в концентратах полусинтетических СОТС составляет 15—30%.

Синтетические и полусинтетические СОТС изготавливают смешением компонентов в определенной последовательности и соотношениях в соответствии с рецептурой.

Смазки по своим свойствам занимают промежуточное положение между жидкими и твердыми смазочными материалами. При малых нагрузках и комнатной температуре они проявляют свойства твердого тела, при критических нагрузках и высоких температурах — пластично деформируются и текут подобно жидкостям; при снятии этих воздействий восстанавливают свойства твердого тела.

Основными компонентами смазок являются минеральные и синтетические масла (дисперсионная среда), мыла, твердые углеводороды, неорганические и органические материалы (дисперсная фаза).

Технология производства смазок сложная, обычно включает стадии получения загустителя, обезвоживания, термообработки, гомогенизации и др.

Пасты представляют собой композиции, состоящие из абразивных наполнителей, связующих, эмульгирующих и других компонентов. Технологические пасты изготавливают смешением компонентов в заданных пропорциях до получения однородной массы требуемой консистенции.

1. КОМПОНЕНТЫ СОТС

Подавляющее большинство (более 95%) выпускаемых промышленностью СОТС — жидкости, содержащие минеральные масла. Масляные СОТС преимущественно применяются в состоянии по-

ставки без дополнительной обработки. Исключение составляют концентраты, которые перед применением разбавляют минеральными маслами до требуемого уровня вязкости и содержания активных компонентов. Эмульсо-лы, синтетические и полусинтетические СОТС в отличие от масляных СОТС в состоянии поставки (в виде концентратов) применяются редко. Обычно на их основе готовят эмульсии или рабочие растворы различной концентрации.

Минеральные масла

Основным компонентом (основой) масляных СОТС и эмульсолов являются минеральные масла, содержание которых в композициях составляет 70—90% и более. Синтетические масла в составе СОТС применяются ограниченно в связи с их малой доступностью и высокой стоимостью. Иногда их используют в качестве добавки к минеральным маслам для улучшения физико-химических и эксплуатационных свойств масел.

Минеральные масла являются основным смазочным компонентом СОТС. Для придания СОТС необходимых физико-химических, функциональных и технологических свойств минеральные масла, применяемые в их составах, должны отвечать ряду требований.

Вязкость масляных СОТС и эмульсолов во многом обусловлена вязкостью минерального масла, использованного для их изготовления. Чрезмерная вязкость жидкости может затруднить доступ ее в зону резания и даже полностью исключить проникновение в нее активных компонен-

тов. Повышенная вязкость жидкости ухудшает моющее действие, осаждение из масла различных примесей, что может отрицательно сказаться на качестве обработанной поверхности детали. Низкая вязкость жидкости способствует лучшему поглощению и отводу теплоты, меньшей вспениваемости и лучшему смыванию стружки.

Скорость стекания жидкости со стружки и изделия, унос масла со стружкой также зависят от вязкости: чем больше вязкость, тем жидкость стекает медленнее; унос масла со стружкой увеличивается.

Важными технологическими функциями СОТС являются охлаждение инструмента и обрабатываемой детали и отвод теплоты, выделяющейся при трении и деформации. По эффективности охлаждения и отвода теплоты минеральные масла и масляные СОТС уступают эмульсиям и водным растворам. При обработке металлов резанием наиболее широко применяют масла вязкостью 5—25 мм²/с при 50 °С.

Основными показателями, определяющими поведение масел в эксплуатации, являются: вязкость и ее изменение в зависимости от температуры — вязкостно-температурные свойства; подвижность при низких температурах — низкотемпературные свойства; устойчивость к окислению кислородом воздуха — химическая стабильность; смазочная и защитная способность по отношению к черным и цветным металлам.

Физико-химические и эксплуатационные свойства масел зависят от их фракционного и химического состава. Для получения масел с хорошими вязкостно-температурными свойствами следует

наиболее полно удалять из масляных дистиллятов полициклические ароматические и нафтен-ароматические углеводороды с короткими боковыми цепями и смолисто-асфальтеновые вещества. Твердые углеводороды также ухудшают низкотемпературные свойства масел.

Коррозионная агрессивность масел находится в прямой зависимости от наличия в них кислород- и серосодержащих соединений. Для повышения защитной способности масел эти соединения из них удаляются очисткой.

В зависимости от способа получения масла делят на дистиллятные и остаточные.

Технологическая схема получения дистиллятных масел включает: вакуумную перегонку мазута, селективную очистку фенолом, депарафинизацию кетоно-ароматическими растворителями и доочистку (адсорбционную или с применением водорода) дистиллятов.

Остаточные масла получают из гудрона, который подвергают деасфальтизации. Затем деасфальтизат проходит селективную очистку, депарафинизацию и доочистку, как и дистиллятные масла.

Товарные масла получают смешением дистиллятных и остаточных базовых масел по определенной рецептуре. Некоторые серийно выпускаемые масла вырабатываются только из дистиллятных (трансформаторное и др.) или только из остаточных (авиационное и др.) компонентов. В зависимости от назначения и требований при смешении в масла вводят присадки различного функционального действия.

В табл. 1 приведены физико-химические свойства промышленных, авиационных масел и других

2. Характеристики нефтепродуктов

Нефтепродукт	Кинематическая вязкость, мм ² /с, при 40 С	Температура, С		Кислотное число, мг КОН/г, не более	Содержание воды, мас. доля, %, не более	Примечание
		испытываемый в открытом виде, не ниже	застывания, не выше			
Индустриальные масла						
И-5А, дистиллятное, из малосернистых нефтей кислотно-щелочной очистки и из сернистых нефтей селективной очистки	6—8	140	—18	0,02	1,0	—
И-8А, дистиллятное, из малосернистых нефтей кислотно-щелочной очистки и из сернистых нефтей селективной очистки	9—11	150	—15	0,02	1,0	—
И-12А, дистиллятное, из малосернистых нефтей кислотно-щелочной очистки и из сернистых нефтей селективной очистки	13—17	170	—15	0,02	1,0	—
И-20А, дистиллятное, из малосернистых нефтей	29—35	200	—15	0,03	1,0	—
И-30А, дистиллятное, из сернистых и малосернистых нефтей кислотно-щелочной очистки	41—51	210	—15	0,05	1,0	—
Авиационные масла						
МС-8, базовое, дистиллятное из западно-сибирских или приуральских нефтей или их смесей	8*	150	—55	0,03	—	—
МС-14, остаточное селективной очистки, из малосернистых нефтей	14**	215	—30	0,05	—	Коксуемость не более 0,45%. Индекс вязкости не менее 85

Продукты табл. 1

Нефтепродукт	Кинематическая вязкость, мм ² /с. при 40 °С	Температура, °С		Кислотное число, мг КОН/г. не более	Содержание серы, мас. доля, % не более	Примечание
		вспышки	застывания, не выше			
МС-20, остаточное селективной очистки, из малосернистых нефтей	20,5**	270	-18	0,05	—	Консистенция не более 0,17%. Индекс вязкости не менее 85
Масла различного назначения						
ВМ-4, базовое, дистиллятное, глубокой селективной очистки из сернистых нефтей	4,3—6	125	-8	0,05	—	Консистенция не более 0,5%. Индекс вязкости не менее 95
ВМ-6, базовое, дистиллятное, глубокой селективной очистки из сернистых нефтей	7,2—10,1	145	-10	0,05	—	Консистенция не более 0,5%. Индекс вязкости не менее 95
Стабилизат-62, дистиллятное, селективной очистки, дещерафинизации, контактной гидроочистки, из Волгоградских и мангышлякских нефтей	15—20*	180	-15	—	0,4	Английская точка не более 103

Другие нефтепродукты

Сольерава фракция из малосернистых нефтей	6—9*	140	-20	—	—	—
Дистиллят специальный для СОЖ	2,6—3,0*	110	-10	—	—	—
Основа рабочей жидкости РЖ-8 для электроэрозионных станков	6—8,5***	120	-6	0,03	—	—

* При 50 °С

** При 100 °С

*** При 20 °С

нефтепродуктов, наиболее часто применяемых как основа для производства СОТС, а также в чистом виде в качестве СОТС в металлообработке.

Жиры, жирные кислоты и жирозаменители

Важнейшим компонентом СОТС являются растительные масла, животные жиры и жирозаменители.

Растительные масла представ-

ляют собой сложные смеси эфиров насыщенных и ненасыщенных высокомолекулярных жирных кислот и глицерина (моно-, ди- и триглицериды) с примесью этих же свободных кислот и других сопутствующих органических веществ. При температуре 20 °С растительные масла являются жидкостями, что обусловлено преимуществом (за исключением пальмового масла) содержанием в них глицеридов ненасыщенных жирных кислот (табл. 2).

2. Характеристика растительных масел

Показатель	Пальмовое	Хлопковое	Подсолнечное	Касторовое	Рапсовое
Плотность при 15 °С, кг/м ³	921—925	918—932*	920—927	950—974	917—918
Коэффициент рефракции n_D^{20}	1,453—1,459**	1,472—1,476	1,474—1,478	1,477—1,479	1,472***
Температура застывания, °С	—	0 ÷ -6	-16 ÷ -19	-10 ÷ -18	0 ÷ -10
Вязкость при 50 °С, мм ² /с	—	3	3,1	15	—
Число, мг КОН/г:					
кислотное	2—10	2—6	0,4—2,5	3—10	2—7
омыления	196—210	189—199	186—194	176—191	171—180
ацетильное	3—23	12—15	—	146—154	1,5—6,0
гидроксильное	4—24	7,5—12,5	2,0—10,6	161—169	—
иодное, г I ₂ /100 г	48—58	100—116	119—136	81—82	95—103
Содержание, мас. доля, %:					
исомыляемых соединений	0,2—1,0	До 2,0	0,3—0,7	0,3—0,4	0,6—1,0
кислоты:					
стеариновой	2,0—6,5	До 2,0	1,6—4,6	3	3
пальмитиновой	32—47	20—22	3,5—6,4	2	—
олеиновой	39—51	30—35	24—40	3—9	15—16
линолевой	5—11	38—50	46—62	3	13—16
линолсеновой	—	—	До 1	—	7—10
рицинолевой	—	—	—	80—85	—
эруковой	—	—	—	—	40—54

* При 20 °С.
 ** При 40 °С.
 *** При 15 °С.

При обработке металлов в композициях СОТС чаще используются технические сорта растительных масел (рапсовое, кориандровое, касторовое), а также хлопковое и другие неочищенные или низкосортные масла.

Сырьем для производства растительных масел служат богатые жирами плоды и семена растений. Производство растительных масел основано на процессе прессования исходного растительного сырья и последующей рафинации продуктов прессования экстракционными и другими методами. Состав и свойства масел зависят от вида растения и места его произрастания, а также техноло-

гии производства.

Животные жиры, как и растительные масла, представляют собой смеси глицеридов в основном насыщенных (пальмитиновой и стеариновой) и ненасыщенных кислот, поэтому все они (за исключением костного жира) в обычных условиях находятся в твердом состоянии (табл. 3). Жиры морских животных, кроме того, содержат эфиры высокомолекулярных спиртов.

В композициях СОТС, а также для получения присадок к ним, обычно используются технические животные жиры, которые получают вытапливанием жировых отложений и костей животных.

3. Характеристика животных жиров

Показатель	Говяжий	Свиной	Бараний	Костный	Китовый
Плотность при 15 °С, кг/м ³	925—953	915—938	937—961	931—938	914—931
Коэффициент рефракции n_D^{20}	1,456—1,458	1,458—1,461	1,450—1,452	1,455—1,456	1,463—1,474
Температура застывания, °С	30—38	22—32	32—45*	31—38	—
Вязкость при 45 °С, мм ² /с	39,3	25**	—	32**	—
Число, мг КОН/г: кислотное	—	До 2,2	2,25—3,60	До 2,2	0,3—10
омыления	190—200	193—200	192—210	190—198	168—202
ацильного	2,7—8,6	До 2,6	—	11—15	11—23
иодное, г I ₂ /100 г	32—47	42—66	31—46,5	39—50	102—144
Содержание, мас. доля, %: неомыляемых соединений	До 1,0	~0,5	До 1,0	0,5—1,0	—
кислоты:					
стеариновой	24—29	8—16	23—31	19—21	2—3
пальмитиновой	27—29	24—32	21—27	20—21	11—12
миристиновой	2—8	До 4,0	1,0—4,6	—	2—3
олеиновой	43—44	37—44	36—47	53—59	22—30
линолевой	2—5	До 8	2—5	5—10	—
линоленовой	0,2—0,6	До 0,8	—	—	—

* При 60 °С.

** При 50 °С.

4. Характеристики технических саломасов

Показатель	Для производства мыла		Для производства стеарина сортов			
	хозяйст- венного	туалет- ного	особых		I	II
			A	Б		
Титр. С, не ниже	45—50	39—43	65	59	58	53
Число: кислотное, мг КОН/г	4	3,5	8	8	7	6
иодное, г I ₂ на 100 г	55	65	2,5	9	17	30
Содержание влаги и летучих ве- ществ, мас. доля, %, не более	—	—	0,3	—	—	—

Состав и свойства животных жиров зависят от их происхождения (вида животных, характера их питания) и от технологии получения жира.

В производстве СОТС иногда применяют гидрированные растительные масла—саломасы, которые по составу и свойствам приближаются к твердым животным жирам (табл. 4).

Жирные кислоты наряду с жирами растительного и животного происхождения являются одним из самых распространенных видов сырья для изготовления СОТС и их компонентов (мыл, эфиров и др.). В природе наиболее широко распространены ненасыщенные жирные кислоты с 18 атомами углерода (олеиновая, линолевая и др.). В растительных маслах их содержание достигает 90%, в животных жирах—до 60%.

Жирные кислоты получают омылением щелочами растительных масел и животных жиров, высаливанием образовавшихся солей жирных кислот и последующим разложением их минеральными кислотами. В производстве

СОТС и в металлообработке наиболее часто применяется олеиновая кислота (табл. 5).

Синтетические жирные кислоты (СЖК) являются наиболее распространенными жирозаменителями и находят большое применение в производстве смазочных материалов.

СЖК получают каталитическим окислением парафина кислородом воздуха. Состав окисленного парафина, мас. доля, %: муравьиной кислоты ≤ 1 , уксусной кислоты $\leq 0,7$, пропионовой кислоты $\leq 0,4$, фракции $C_{10}—C_{20} \leq 20$, фракции выше $C_{20} \leq 5$, неомыляемые соединения—остальное.

Жирные кислоты из окисленного парафина выделяют омылением щелочами. Мыла освобождают от неомыляемых веществ термической обработкой, жирные кислоты получают обработкой мыл минеральными кислотами. Выделившиеся жирные кислоты промывают водой, перегоняют под вакуумом обычно на фракции $C_5—C_6$, $C_7—C_9$, $C_{10}—C_{16}$, $C_{17}—C_{20}$, C_{21} и более высокомолекулярные (кубовый остаток). Низкомолекулярные жир-

5. Характеристика технической олеиновой кислоты

Показатель	Дистиллированная кислота марки		Недистиллированная кислота марки В
	А	Б	
Цвет	От желтого до светло-коричневого		От желтого до темно-коричневого
Содержание, мас. доля, %: жирных кислот в пересчете на олеиновую кислоту, не ниже неомыляемых соединений, не более	95	95	92
Температура застывания, °С, не ниже	3,5	3,5	6,5
Число: иодное, г I ₂ /100 г кислотное, мг КОН/г	10	16	34
Прозрачность при 70 °С	80—90 185—200 Прозрачная	80—90 185—200 —	Не нормируется Не менее 175 Не прозрачная

ные кислоты концентрируются в промывных водах.

Наиболее близкие к натуральным жирным кислотам—фракции СЖК C₁₀—C₁₆ и C₁₇—C₂₁ (табл. 6), которые широко используются в мыловаренной про-

мышленности, производстве смазочных материалов и др.

В качестве жирозаместителей в производстве СОТС уже давно используются нафтеновые (или нефтяные) кислоты. Их получают как побочный продукт от очистки

6. Характеристика СЖК

Показатель	Фракция		Кубовый остаток*
	C ₁₀ —C ₁₆	C ₁₇ —C ₂₁	
Средняя молекулярная масса	242	345	842
Число, мг КОН/г:			
кислотное	249,7	186,2	110,0
омыления	254,9	191,4	147,3
ацетильное	10,7	12,3	18,8
карбонильное	8,7	10,0	11,0
иодное, г I ₂ /100 г	6,5	0,8	19,1
Содержание, мас. доля, %:			
неомыляемых соединений	3,6	4,2	30,0
кислот нормального строения	55,0	20,0	0
Температура плавления, °С	27,0	57,0	46,0
Вязкость при 70 °С, мм ² /с	7,8	17,8	41,7**

* Фракция кислот C₂₁ и более высокомолекулярных.

** При 100 °С.

7. Характеристика нафтенowych кислот, полученных при очистке дистиллятов майкопской нефти

Показатель	Дистиллят						
	лигро- новый	кероси- новый	газои- леый	соля- ровый	вере- сеный	машин- ный	цилинд- ровый
Плотность при 15 °С, кг/м ³	991	989	979	971	966	961	—
Вязкость при 50 °С, мм ² /с	—	2,77	—	4,36	20,81	29,35	49,13
Коэффициент рефракции n_D^{20}	1,4599	—	1,4743	—	—	1,4851	—
Поверхностное натяжение на границе с водой $N \cdot 10^7$, Н/м	12,97	11,54	—	—	9,64	7,21	—
Число:							
кислотное, мг КОН/г	365	315	230	210	174	158	121
иодное, г I ₂ /100 г	1,51	2,68	3,70	4,94	5,17	6,71	8,97
Молекулярная масса	149	178	259	269	299	337	481

нефтепродуктов водными растворами щелочей. Разложением образовавшихся солей минеральными кислотами получают свободные нафтенowe кислоты. Состав и свойства нафтенowych кислот зависят от того, из

каких нефтепродуктов они извлечены (табл. 7).

В промышленности производят нафтенowe кислоты и их соли получившие названия асидол, асидол-мылонафт и мылонафт (табл. 8).

8. Характеристика технических нефтяных кислот

Показатель	Дистилли- рованные нафтенowe кислоты	Асидол		Асидол- мылонафт, сорт		Мылонафт, сорт	
		А-1	А-2	I	II	I	II
Внешний вид	Прозрачная желтая жидкость	—	—	Мазеобразное вещество от светло-желтого до светло-коричневого цвета			
Содержание, мас. доля, %:							
нефтяных кислот, не менее	95	42	50	43	43	70	70
неомыляемых соеди- нений в расчете на неорганическую часть, не более	3	57	45	9	13	9	13
минеральных солей, не более	—	—	—	1	1	4	4
Кислотное число неф- тяных кислот, мг КОН/г: не более не менее	220—260 —	175 —	210 —	— 220	— 210	— 220	— 210

Одно из достоинств нафтеновых кислот, позволяющее применять их в составе СОТС вместо натуральных жиров, это хорошая их растворимость в минеральных маслах и органических продуктах. Нафтенаты щелочных металлов хорошо растворимы в воде и поэтому широко используются при производстве эмульсолов.

В качестве сырья для производства СОТС применяют канифоль и талловое масло, получаемые из смолы и продуктов переработки древесины преимущественно хвойных пород. Основными компонентами канифоли и галлового масла являются жирные и смоляные кислоты (90% и более), причем в канифоли преобладают смоляные кислоты (60—76%), а в талловом масле — жирные кислоты (50—65%). Жирные кислоты таллового масла на 80% состоят из ненасыщенных жирных кислот (в основном из олеиновой и линолевой).

Смоляные кислоты хорошо растворимы в минеральных маслах, а соли щелочных металлов этих кислот хорошо растворимы в воде. Благодаря этим ценным свойствам канифоль и талловое масло часто входят в состав эмульсолов.

Органические соединения азота, серы, хлора и фосфора и другие компоненты СОТС

Многие органические соединения азота, серы, хлора и фосфора входят в состав СОТС в качестве компонентов и присадок.

Современные СОТС содержат присадки различного функционального назначения. Это прежде всего противоизносные, противо-задирные и антиокислительные

присадки, введение которых в СОТС позволяет значительно расширить их технологические возможности и области применения. Наряду с ними в СОТС часто вводят антикоррозионные, антипенные присадки, реодоранты.

В качестве противоизносных присадок к СОТС используются фосфаты и диалкилфосфаты, а также диалкилдитиофосфаты и диалкилдитиокарбаматы металлов. К эффективным противоизносным присадкам относятся также соли аминов и амиды диалкилфосфорных кислот, осерненные жиры (жирные кислоты и их эфиры). Концентрация противоизносных присадок в СОТС обычно составляет 0,5—15%.

Противозадирные присадки к СОТС представлены в основном серо-, хлор- и серохлорсодержащими соединениями. Это прежде всего элементарная сера, органические сульфиды и полусульфиды, животные жиры и растительные масла, сложные эфиры жирных кислот. В зависимости от условий применения СОТС содержание в них серосодержащих присадок составляет 0,5—6% для сульфидов и полисульфидов и 3—20% для осерненных жиров.

Самыми распространенными хлорсодержащими противозадирными присадками к СОТС являются хлорированные парафины: применяются также хлорированный тетрамер пропилена и хлорированные эфиры жирных кислот. Включение в состав СОТС 3—15% указанных присадок обеспечивает обработку легированных сталей, 20—40% — обработку жаропрочных сплавов.

Все большее применение в СОТС находят присадки, содержащие в одном соединении серу.

хлор, фосфор. Большинство противозадирных присадок, содержащих одновременно серу и хлор, получают путем взаимодействия неопредельных соединений с хлоридами серы. Это хлорсульфидированные α -олефины, полибутен, свиной жир. Хлорсульфидированные жиры и олефины входят в состав многих СОТС в концентрации до 10%.

В качестве антиокислительных присадок к СОТС используются известные антиоксиданты типа ароматических аминов (дифениламин, *N*-фенил- α -нафтиламин), фенолов (иол) и др. В СОТС они входят в количестве 0,1—0,2%.

Эффективной антикоррозионной присадкой относительно цветных металлов и сплавов является бензогразол. Достаточно высокие антикоррозионные свойства СОТС придают диалкилдитиофосфаты и диалкилдитиокарбаматы металлов, дисульфиды, аминоксфаты, оксигилированные жирные амины и амиды и др. Ингибиторы коррозии в СОТС обычно добавляются в концентрации 0,1—2,0%.

В качестве антипенных присадок к СОТС наибольшее распространение получили полиметилсилоксановые жидкости, которые применяют в количестве 0,001—0,02%.

Интенсивность запаха СОТС регулируют добавками отдушек: α -пинена, соснового масла, а также некоторых сложнэфирных душистых веществ в количестве 0,1—1,0%.

Водные СОТС должны обладать запасом эмульгируемости, высокими смазочными и антикоррозионными свойствами. В условиях эксплуатации концентраты водосмешиваемых СОТС разбав-

ляются водой в отношении 1:20—1:50, и подбор эффективных ингибиторов коррозии представляет значительные трудности. ПАВ (эмульгаторы и др.), являющиеся непременными компонентами СОТС на водной основе, обычно обладают высокой пенообразующей способностью, поэтому для регулирования уровня пены в композиции вводят специальные пеногасители, которые не всегда хорошо совмещаются с другими компонентами.

Водная среда очень благоприятна для обитания микроорганизмов. Поэтому при подборе компонентов СОТС необходимо оценивать и учитывать их биостойкость, чтобы эмульсии и рабочие растворы не стали питательной средой для микробов и грибов.

Компоненты водосмешиваемых СОТС после использования последних должны легко выделяться из воды, подвергаться биологическому разложению.

Наиболее массовыми водосмешиваемыми СОТС являются эмульсолы. Стабильность водных эмульсий из эмульсола в течение длительного срока эксплуатации обеспечивается эмульгаторами.

К ним относятся водомаслорастворимые алкилбензолсульфонаты натрия; аминные или щелочные мыла жирных и смоляных кислот; водорастворимые соли алкиламинокарбоновых или алкиламинокарбоновых кислот; водорастворимые соли алкил- и алкиларилсульфамидокарбоновых кислот; неионогенные оксигилированные жирные спирты (табл. 9), алкилфенолы, карбоновые кислоты или их эфиры с многоатомными спиртами.

Анионоактивные ПАВ обладают полифункциональным действием,

9. Характеристики немоногенных ПАВ

Показатель	Синтамид-5	Синтиалол ДС-10	Стеарокс-6	Неонол		
				2В1317-12	В1020-3	В1020-12
Внешний вид	Пастообразная масса от светло-желтого цвета до желтого без механических примесей	Паста от белого до слегка желтого цвета	Сиропообразная или пастообразная масса желтого или светло-коричневого цвета	Паста светло-желтого цвета	Прозрачная жидкость светло-коричневого цвета	Паста белого или темно-желтого цвета
Цветность по иодометрической шкале, не более	25 (марка А) 50 (марка Б)	2 (5%-го водного раствора)	—	30	15	—
рН	7—8 (1%-ного водного раствора)	7,45—9,0 (10%-ного водного раствора)	7—9 (1%-ной водной дисперсии)	7 (5%-ной водной эмульсии)	7±1 (5%-ной водной эмульсии)	7±1 (1%-ного водного раствора)
Содержание оксизтильных групп, мас. доля, %, не менее	42	—	—	—	36±3	—
Содержание окиси этилена, мас. доля, %, в пересчете на 100%-ный продукт	—	—	—	71±2	—	—

10. Характеристика алканолламинов

Показатель	Моноэтаноламин, сорт			Триэтаноламин, марка		
	Высший	I	II	А	Б	В
Содержание основного вещества, мас. доля, %, не менее	98,5	98,0	95,0	—	—	—
Плотность при 20 °С, кг/м³	1015—1018	1015—1018	1015—1025	1095—1124	1095—1135	1095—1135
Содержание фракций после перегонки при остаточном давлении (2,7±0,2) кПа, мас. доля, %:						
при температуре до 170 °С, не более	Не регламентируется			14,5	15,0	Не регламентируется
при температуре 170—225 °С, не менее		То же		82,0	80,0	80,0
Остаток после перегонки, мас. доля, %, не более		То же		3,5	6,0	20,0

11. Характеристика биоцидных присадок к СОРС

Показатель качества	Бактерициды			
	Вазин	Азин-1	Азин-2	Формацид-13
Плотность при 20 °С, кг/м ³	1080—1100	1100—1200	1050—1150	1075—1100
Коэффициент рефракции n_D^{20}	1,4220—1,4365	1,4300—1,5000	1,4000—1,5000	1,4030—1,4130
pH	9,5—10,5 (0,15%-ного водного раствора)	9,5—11,0 (1%-ного водного раствора)	9,5—10,5 (1%-ного водного раствора)	≥ 6,0 (концентра-та)
Кинематическая вязкость при 50 °С, мм ² /с	—	8—14	6—8	—
Растворимость в воде	Полная			
Оптимальная концентрация, мас. доля, %	0,15—0,30	0,20—0,30	0,20—0,30	0,20—0,30

неионогенные — улучшают устойчивость к солям жесткости, но заметно повышают в ряде случаев коррозионную агрессивность и пенообразующую способность СОРС.

Высокие антикоррозионные, антифрикционные, противоизносные свойства СОРС обеспечивают соединения типа алкиламидокарбоновых и сульфамидокарбоновых кислот. Они менее чувствительны к солям жесткости, чем мыла жирных кислот.

Совместимость минерального масла с эмульгаторами и концентрата СОРС с водой хорошо обеспечивают спирты (изопропанол, циклогексанол), гликоли (диэтиленгликоль, гексиленгликоль), эфиры гликолей в концентрации 1—5%.

Для обеспечения требуемого уровня антикоррозионных свойств в композиции эмульсолов и полусинтетических СОРС вводятся

специальные антикоррозионные присадки: нитрит натрия, алкалоламины и др. (табл. 10). Суммарная концентрация их в СОРС составляет 0,5—5,0%.

Проблема борьбы с пенообразованием при применении эмульсий стоит более остро, чем при работе с масляными СОРС. Для уменьшения пенообразования эмульсий в эмульсолы вводят полисилоксановые жидкости, моноэфиры жирных кислот и гликолей в концентрации 0,1—0,3%.

Для защиты СОРС от микробиологического поражения в них вводят биоциды: против аэробов и анаэробов применяются бактерициды, против грибов — фунгициды; известны также биоциды бактерицидно-фунгицидного действия (табл. 11).

В качестве биоцидов, добавляемых к СОРС, применяются триазины, рекомендованы также оксазолины, тиазолины, продукты

Бактерицид-фунгициды		Фунгицид-бактерициды				
Камцид-1	Укацид-2	Тетрацид	Сульфацид-4	Сульфацид-5	Карбазин	Дивалон
1100—1110	1100—1200	1060—1130	1080—1150	1100—1200	1070—1150	1100—1200
1,399— 1,4080	1,4000— 1,5000	1,4060— 1,4185	1,4000— 1,5000	1,4000— 1,5000	—	1,4000— 1,5000
7,0—8,5 (0,15%- ного вод- ного рас- твора)	10,0—11,5 (1%-ного водного раствора)	≥8,0 (концент- рата)	9,5—10,6 (1%-ного водного раствора)	10,5—11,5 (1%-ного водного раствора)	≥9,0 (концент- рата)	9,0—11,0 (1%-ного водного раствора)
—	≤65	—	2—4	2—4	—	—
Полная						
0,20—0,30	0,15—0,30	0,15—0,30	0,15—0,30	0,10—0,20	0,10—0,20	0,05—0,15

взаимодействия гетероциклов с альдегидами и др.

Стремление придать СОЖ большую универсальность, продлить срок их службы, облегчить утилизацию отработанных растворов, привело к созданию синтетических (безмасляных) СОТС. Они обычно состоят из водорастворимых полимеров или ПАВ (базовая основа), воды, антикоррозионных и других присадок. По мере необходимости в концентрат вводятся противозносные, противозадирные, антипенные и биоцидные присадки. Содержание химических веществ в концентрате 50—70%, воды — 30—50%.

В качестве основы синтетических СОЖ применяются полиалкиленгликоли — линейные полимеры окиси этилена и окиси пропилена, а также продукты поликонденсации окисей этилена и пропилена со спиртами, гликолями, аминами, кислотами.

Они обладают многими ценными свойствами: достаточной смазывающей способностью, химической и физической стабильностью, устойчивостью к солям жесткости, низким пенообразованием.

Наряду с полигликолями в качестве основы синтетических СОТС применяются сополимеры стирола и малеинового ангидрида, их производные и другие полимеры.

Из ПАВ, применяемых как основа синтетических СОТС, можно назвать триэтаноламинные соли ароматических сульфамидокарбоновых кислот, моно- или диэфиры алкилфосфорных кислот, жирных кислот $C_6—C_9$ и др.

Антикоррозионные свойства синтетических СОТС усиливаются введением в композиции алканол аминов, боратов, нитритов и других известных водорастворимых ингибиторов коррозии.

2. МЕТОДЫ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СОТС

Показатели физико-химической оценки качества СОТС, включаемые в нормативно-техническую документацию, приведены в ОСТ 38 01327—83, а методы оценки качества эмульсолов—в ГОСТ 6243—75*. Отбор проб производится в соответствии с ГОСТ 2517—85.

Методы физико-химической оценки и показатели качества СОТС для резания металлов приведены в табл. 12 (для водосмешиваемых) и табл. 13 (для масляных). Их применяют в процессе

контроля качества как при производстве, так и при применении СОТС. Помимо указанных стандартных методов, оценка качества СОТС проводится и негостированными (исследовательскими) методами.

Назначение основных показателей качества СОТС следующее.

Внешний вид определяется с целью выявления однородности и идентичности партий продукта. Метод определения визуальный.

Запах определяется с целью исключения вредных для здоровья веществ. Метод определения органолептический.

Вязкость свидетельствует о консистенции и подвижности продук-

12. Методы физико-химической оценки качества водосмешиваемых СОТС для резания

Показатель качества	ГОСТ на метод определения
Концентрат	
Внешний вид	6243—75*, п. 1
Запах	Органолептически
Вязкость кинематическая при 50 °С	33—82
Стабильность при хранении	6243—75*, п. 6
Плотность при 20 °С	3900—85*
Содержание:	
воды	2477—65*
хлора	20242—74*
Влияние жесткой воды	6243—75*, п. 8
Число:	
кислотное	11362—76*, 6707—76
омыления	21749—76*, 17362—71
Стабильность при низких температурах	6243—75*, п. 5
Рабочие эмульсии и растворы	
Внешний вид	6243—75*, п. 1
Запах	Органолептически
pH	6243—75*, п. 4
Стабильность эмульсии	6243—75*, п. 3
Коррозионная агрессивность	6243—75*, п. 2
Склонность к пенообразованию	Нестандартизован
Микробоустойчивость	9.085—78
Концентрация	Нестандартизован

та, что необходимо знать при решении вопросов затаривания, транспортирования и применения продукта. Определяется при помощи вискозиметров различной конструкции по скорости истечения продукта при заданной температуре через капилляр определенного диаметра.

Плотность — отношение массы тела к его объему; имеет важное значение при расчете массы; определяется при помощи ареометров и пикнометров.

Температура вспышки — минимальная температура жидкости, при которой ее пары образуют в закрытом сосуде смесь с воздухом, способную воспламениться от внесенного постороннего источника зажигания. Является важной характеристикой пожаро-взрывоопасных свойств СОТС.

Стабильность при низких температурах — показатель, характеризующий стабильность продукта при воздействии низких температур. Метод основан на циклическом изменении температуры (положительной и отрицательной) продукта и определении его стабильности.

Корродирующее воздействие на металл — показатель, характеризующий разрушение поверхности металла химическими или электрохимическими процессами, вызываемое присутствием СОТС.

Для масляных СОТС испытание проводится при 100 °С на металлических пластинках из стали, чугуна, меди или латуни. Не допускается изменение цвета пластинки.

Для водосмешиваемых СОТС испытания проводятся методом

13. Методы физико-химической оценки качества масляных СОТС для резания

Показатель качества	ГОСТ на метод определения
Внешний вид	6243—75*, п. 1
Запах	Органолептически
Вязкость кинематическая при 50 °С	33—82
Стабильность при хранении	6243—75*, п. 6
Плотность при 20 °С	3900—85*
Температура вспышки в открытом тигле	4333—87*
Стабильность при низких температурах	6243—75*, п. 5
Число:	
кислотное	11362—76*
омыления	21749—76*, 17362—71
Содержание:	
серы	1431—85, 3877—88*
хлора	20242—74*
фосфора	9827—75*
воды	2477—65*
механических примесей	6370—83*
Коррозионное воздействие на металлы	2917—76*
Определение смазывающих свойств	9490—75*

контактных пар (чугунная стружка—стальная пластинка) во влагокамере или капельным методом в открытом эксикаторе.

Кислотное число—показатель, характеризующий количество органических кислот (свободных жирных и нафтеновых) в продукте. Определяется потенциометрическим или объемным титрованием раствором едкого калия навески продукта, растворенного в спиртобензольном растворе.

Число омыления—показатель, характеризующий содержание в продукте свободных жирных кислот, их сложных эфиров и жиров. Метод определения заключается в растворении навески продукта в неводном растворителе, кипячении полученного раствора и в последующем оттитровании непрореагировавшей щелочи раствором соляной кислоты.

Содержание воды—показатель, характеризующий наличие в продукте несвязанной воды. Метод определения заключается в растворении навески испытуемого продукта в растворителе, нагревании полученного раствора и отгонке воды вместе с растворителем. Испарившиеся частицы воды конденсируются в холодильнике и собираются в градуированный приемник.

Содержание механических примесей—показатель, характеризующий наличие в продукте инородных тел (пыль, песок и др.), находящихся во взвешенном состоянии. Метод определения заключается в растворении продукта в растворителе, фильтровании полученного раствора через высушенный бумажный фильтр, взвешивании фильтра после промывки его растворителем и сушки.

Стабильность при хранении—

показатель, характеризующий стабильность физико-химических свойств продукта во времени. Метод заключается в циклическом воздействии на продукт высоких и низких температур, последующем центрифугировании и определении степени расслоения.

Стабильность эмульсии (раствора)—показатель, характеризующий стабильность эмульсии (раствора) СОРС во времени при влиянии на нее солей жесткости воды, на которой приготовлена эмульсия (раствор). Метод заключается в растворении концентрата СОРС в воде заданной жесткости и определении количества незаэмульгированного в воде продукта после выдержки эмульсии (раствора) при комнатной температуре в течение 24 ч.

Склонность к пенообразованию (устойчивость пены)—показатель, характеризующий способность эмульсии (растворов) образовывать пену с различной степенью стабильности во времени. Метод разработан НИИ НП «МАСМА»; заключается в барботировании с определенной скоростью воздуха через заданный объем эмульсии (раствора), определении объема образовавшейся пены и ее устойчивости за определенное время.

Содержание серы—показатель, характеризующий наличие в СОРС серосодержащих присадок. Метод заключается в сжигании навески продукта в тигле со смесью перекиси марганца и безводного углекислого натрия, растворении образовавшихся сульфатов в воде и определении содержания серы в растворе объемным хроматным способом.

Содержание фосфора—показатель, характеризующий наличие

в СОТС фосфорсодержащих присадок. Метод заключается в сжигании навески продукта в калориметрической бомбе в атмосфере кислорода и присутствии воды. Полученная ортофосфорная кислота обрабатывается растворами ванадиево-кислого и молибденово-кислого аммония. Полученный окрашенный раствор калориметрируется. Содержание фосфора определяется по интенсивности окраски.

Показатель концентрации водородных ионов (рН) характеризует реакцию водной среды. Измерения проводятся с помощью рН-метров. Измерительный электрод определяет разность значений рН в испытуемом и стандартном растворах.

Содержание хлора — показатель, характеризующий наличие в продукте хлорсодержащих присадок. Метод заключается в сжигании навески продукта в калориметрической бомбе в растворе углекислого натрия в атмосфере кислорода и последующем титровании раствором азотно-кислой окисной ртути в присутствии индикатора дифенилкарбазона.

Влияние жесткой воды — показатель, характеризующий стабильность эмульсола к солям жесткости воды. Метод заключается в термостагировании эмульсии, приготовленной на жесткой воде, в мерном цилиндре при 40 °С в течение 24 ч, выдерживании ее при 20 °С в течение 24 ч и определении количества мазеобразного слоя на поверхности эмульсии.

Коррозионная агрессивность эмульсии определяется двумя методами: капельным, заключающимся в нанесении эмульсии на чугунную стружку, помещенную на фильтровальную бумагу, и вы-

держке при комнатной температуре в течение 2 ч, и методом разбавления, заключающемся в нанесении капель исходной и разбавленной (1:1) водой эмульсии на металлическую пластинку и выдержке при температуре не менее 25 °С до испарения.

Эмульсия считается выдержавшей испытания, если на фильтровальной бумаге или на металлической пластинке полностью отсутствуют пятна коррозии.

Температура застывания характеризует подвижность нефтепродукта в заданных условиях. Пробу продукта наливают в стандартную пробирку, которую помещают вертикально в охлаждающую смесь определенной температуры на 5 мин. Затем пробирку наклоняют под углом 45° и оставляют в таком положении в охлаждающей смеси на 1 мин. вынимают и наклоняют; если при этом уровень масла не сместился, то данную температуру считают температурой застывания.

Смазывающие свойства — показатель, характеризующий противоизносные и противозадирные свойства смазочных материалов. Метод заключается в испытании продукта на четырехшариковой машине при заданных осевых нагрузках и определении индекса задира, критической нагрузки сваривания.

3. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СОТС

Наряду с качеством сырья и рецептурой важное значение для получения СОТС заданных состава и свойств имеет технология.

Основная трудность, возникающая при изготовлении СОТС, заключается в плохой взаимной растворимости и совместимости отдельных компонентов, а иногда и в их антагонизме. Это отрицательно сказывается на стабильности концентратов эмульсий и рабочих растворов СОТС, является одной из причин быстрой потери ими ценных свойств при хранении, транспортировании и эксплуатации.

В зависимости от условий производства применяют периодические, полунепрерывные и непрерывные процессы.

На практике наибольшее распространение получили периодические и полунепрерывные процессы производства СОТС.

В полунепрерывных и непрерывных процессах, в отличие от периодических, отдельные стадии аппаратурно разделены, контроль качества полупродуктов осуществляется на потоке; при этом повышаются требования к надежности работы оборудования, насосов, приборов, стабильности состава и свойств сырья и реагентов.

Наиболее простая и прогрессивная технология получения СОТС—смешение пакета присадок и масел, которую можно осуществить в емкостях (мешалках), оборудованных перемешивающим и дозирующим устройствами, системами обогрева и охлаждения.

Технология получения СОТС, содержащих мыла, продукты осернения, конденсации и другие, сложная и многостадийная, требует специального аппаратурного оформления.

При производстве такой многономенклатурной продукции перменного ассортимента, каковой

являются СОТС, когда возникает необходимость часто перестраивать технологическую схему на выпуск новой продукции, переработку новых видов сырья, выгодны гибкие автоматизированные производственные системы на блочно-модульном оборудовании.

В общем процесс производства СОТС состоит из следующих основных стадий: подготовки и дозирования сырья, получения полупродуктов (мыла, продукты осернения, конденсации и др.), смешения компонентов, охлаждения, фильтрации и расфасовки готового продукта.

Сырье, предназначенное для изготовления СОТС, предварительно анализируют по показателям, обязательным для проверки, и устанавливают соответствие его качества требованиям стандартов.

Высокоплавкие пастообразные и высоковязкие сырьевые компоненты, поставляемые в бочках, перед дозированием и загрузкой в емкости (реакторы) доводят до требуемой консистенции путем нагрева и расплавления в тепловых камерах (плавильниках), обогреваемых паром.

Соотношение компонентов, входящих в состав СОТС, наряду с технологией определяет их свойства, поэтому требуется точное дозирование сырья и реагентов. Жидкие исходные компоненты дозируют обычно при 20—85 °С. Для этого применяют объемные (мерники, счетчики) или весовые дозаторы. В случае весовой дозировки емкости реакторы устанавливают на весы или устройство с тензорными датчиками. Широко применяют также дозирочные насосы, в том числе снабженные суммирующими устройствами, позволяющими

автоматически поддерживать необходимое соотношение компонентов. Твердые, пасто- и порошкообразные компоненты обычно дозируют весовым способом. Высокая точность дозирования компонентов — неперемное условие всех технологических процессов. Точная дозировка сырья особенно необходима в непрерывных процессах, в которых корректирование соотношения ингредиентов по ходу процесса, в отличие от периодических процессов, осуществить трудно.

Масляные СОТС изготавливают простым смешением компонентов (базового масла и присадок) при заданной температуре до образования однородной смеси. Этот процесс периодический, он состоит из следующих стадий: подготовки сырья, смешения компонентов, фильтрации и расфасовки готового продукта.

В мешалку закачивают расчетное количество базового масла, нагревают до 40—60 °С и при перемешивании (а при необходимости и циркуляции) в мешалку загружают другие компоненты в соответствии с рецептурой изготавливаемой СОТС. Температуру поддерживают такой, чтобы расплавить твердые вещества и обеспечить растворение смешиваемых компонентов. Смесь компонентов выдерживают в аппарате при перемешивании и заданной температуре столько времени, сколько требуется для получения однородной массы. Полнота смешения определяется путем периодического контроля однородности средней пробы, отбираемой из мешалки. При положительных результатах физико-химического анализа продукт охлаждают, фильтруют от механических при-

месей и расфасовывают.

В полунепрерывных и непрерывных процессах подготовка сырья осуществляется периодическим способом, как правило, в двух поочередно работающих аппаратах, а приготовление СОТС — непрерывным способом путем дозирования компонентов и их смешением в реакторе.

Эмульсолы производят, выполняя следующие стадии: подготовки сырья, приготовления мыла (эмульгатора), смешения компонентов, фильтрации и расфасовки готового продукта.

Сначала получают мыло. В мешалку загружают омыляемые компоненты и водный раствор гидрата окиси калия (триэтаноламин) в соответствии с рецептурой СОТС. Смесь компонентов нагревают до 80—95 °С и выдерживают при перемешивании 2 ч для нейтрализации кислот и омыления эфиров. Затем при температуре около 100 °С и постоянном перемешивании выпаривают основную массу добавленной и реакционной воды, для более полного удаления воды температуру постепенно повышают до 130—150 °С.

Для приготовления эмульсола в мешалку загружают минеральное масло, мыло, эмульгаторы, вещества-связки, ингибиторы коррозии и другие компоненты в соответствии с рецептурой. Смесь нагревают до 60—80 °С, выдерживают при перемешивании до получения гомогенного продукта. После проверки продукта на соответствие требованиям стандарта, эмульсол охлаждают, фильтруют и откачивают в емкость для готового продукта или расфасовывают.

Синтетические и полусинтетические СОТС изготавливают смешением компонентов в определенной последовательности при нагревании и перемешивании в соответствии с рецептурой и технологической картой.

Смазки изготавливают с использованием мыл или других загустителей. Мыла или мыльно-масляные суспензии получают нейтрализацией органических кислот или омылением жиров водными растворами щелочей в минеральном масле (до 30% от общего количества) при температуре 95—98 °С и механическом перемешивании.

После обезвоживания и термообработки мыло диспергируют в оставшемся количестве минерального масла. В мыльно-масляную суспензию добавляют присадки, затем ее охлаждают, фильтруют и гомогенизируют. Полученную смазку деаэрируют и расфасовывают.

Пасты получают из суспензии абразивного порошка, которую диспергируют в связующие и охлаждают. Готовую продукцию расфасовывают.

СОТС с твердыми наполнителями изготавливают путем введения в смазку порошкообразных твердых наполнителей — графита, дисульфида молибдена и др. Хорошими адгезионными свойствами обладают частицы наполнителя, соизмеримые с микронеровностями контактируемых поверхностей при трении. Обычно это порошки с размером частиц 1—10 мк. Требуемая степень дисперсности наполнителя достигается различными способами измельчения — дроблением, помолом, истиранием.

На заводы, производящие СОТС, сырье поступает в цистер-

нах, контейнерах, бочках; порошкообразные сыпучие вещества — в мешках. Масла, жирные кислоты, ПАВ и другие жидкие продукты в товарных парках хранятся в емкостях и бочках, перекачиваются в промежуточные емкости на установках центробежными насосами. Для перекачивания высоковязких жидкостей используются ротационно-зубчатые и винтовые насосы.

При приготовлении мыл, мыльно-масляных суспензий используются скребково-лопастные мешалки. Для обезвоживания применяются пленочные испарители, а для охлаждения — трубчато-скребковые аппараты. Смешение продуктов на потоке осуществляют с помощью гидродинамических и статических смесителей различной конструкции.

Приготовление СОТС обычно проводят в реакторах-смесителях, оборудованных перемешивающими устройствами с переменным числом оборотов, рубашкой (змеевиком) для нагрева и охлаждения.

Для механической обработки (гомогенизации) смазок используют перетирочные машины, коллоидные мельницы, шелевые, клапанные и других типов гомогенизаторы.

Фильтрацию жидких продуктов осуществляют при помощи фильтр-прессов, центрифуг, а высоковязких продуктов — барабанных фильтров со сменными фильтрующими элементами.

Список литературы

1. Беззубов А. П. Химия жиров М.: Пищевая промышленность, 1975 124 с.
2. Бердичевский Е. Г. Смазочно-охлаждающие средства для обработки

материалов: Справочник. М.: Машиностроение. 1984. 224 с.

3. Ишук Ю. Л. Технология пластичных смазок. Киев: Наукова думка. 1986. 248 с.

4. Курчик Н. Н., Вайишток В. В., Шехтер Ю. Н. Смазочные материалы для обработки металлов резанием. М.: Химия. 1972. 312 с.

5. Папок К. К., Рагозин Н. А. Словарь по топливам, маслам, смазкам, присадкам и специальным жидкостям. М.: Химия. 1976. 392 с.

6. Смазочно-охлаждающие технологические среды/Сборник научных тру-

дов ВНИИПКнефтехим. М.: ЦНИИТЭнефтехим. 1982. 171 с.

7. Топлива, смазочные материалы и технические жидкости/Под ред. В. М. Школьников. М.: Химия, 1989. 432 с.

8. Чередниченко Г. И., Лебедев Е. В., Сабирова Г. В. Нефтяное углеводородное сырье для производства смазочно-охлаждающих технологических сред//Темат. обзор. Сер. Переработка нефти. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1982. 60 с.

9. Черножуков Н. И. Технология переработки нефти и газа. Ч. 3. М.: Химия. 1978. 423 с.

АССОРТИМЕНТ СОТС

использование разработок советской классификации и выбор отечественных и зарубежных СОС с целью определения их взаимозаменяемости. Рекомендации по взаимозаменяемости должны основываться на базовых аксиомах и фактах, фактико-художественных и технологических свойствах

ГОСТ	Обозначение	ГОСТ	Обозначение
Гидрофобные; инертные активные; жидкие; водоэмульсионные; образующие в воде мушкетеры; грубые дисперсии микромульсии дающие прозрачные растворы на основе органических веществ неорганических веществ органических веществ 50 °C (по ИСО): первой 1—9 (2, 3, 5, 7, 10) второй 10—20 (15, 22) третьей > 20 (32, 40, 68, 100)	Г Г1 Г2 В З З1 З2 Р Р1 Р2 Р3 М М1 М2 М3	Бесповерхностные; Растительные; металлов; калий; других веществ; Твердые; неорганические (металлы); металлы; органические; соединения; другие; Пластичные; на углеводородной основе; на солевых; на мыльных; на соевых; на других; на других;	И Рс Рс1 Рс2 Рс3 Т Т1 Т2 Т3 Т4 Т5 П П1 П2 П3 П4

Международный стандарт ИСО 6743/7		Система классификации, предложенная НПО «МАСМА»				
Категория продуктов	Класс L, группа M	Индексация по физико-химической природе и наличию присадок, усиливающих смазочные свойства	Индексация по степени легирования присадками к типу присадок			
			П1 (присадок до 5%)	П2 (присадок 5—10%)	П3 (присадок 10—30%)	П4 (присадок более 30%)
Масляные СОТС: с антикоррозионными свойствами	MHA	M1.0* M2.0* M3.0*	—	—	—	—
типа MHA с антифрикционными свойствами	MHB	M1.Па M2.Па M3.Па	M1.П1а M2.П1а M4.П1а	M1.П2а M2.П2а M3.П2а	M1.П3а M2.П3а M3.П3а	M1.П4а M2.П4а M3.П4а
типа MHA с противозадирными свойствами (химически неактивная)	MHC	M1.П6вг M2.П6вг M3.П6вг	M1.П16вг M2.П16вг M3.П16вг	M1.П26вг M2.П26вг M3.П26вг	M1.П36вг M2.П36вг M3.П36вг	M1.П46вг M2.П46вг M3.П46вг
типа MHA с противозадирными свойствами (химически активная)	MHD	M1.П6вг M2.П6вг M3.П6вг	M1.П16вг M2.П16вг M3.П16вг	M1.П26вг M2.П26вг M3.П26вг	M1.П36вг M2.П36вг M3.П36вг	M1.П46вг M2.П46вг M3.П46вг
типа MHB с противозадирными свойствами (химически неактивная)	MHE	M1.Па6вг M2.Па6вг M3.Па6вг	M1.П1а6вг M2.П1а6вг M3.П1а6вг	M1.П2а6вг M2.П2а6вг M3.П2а6вг	M1.П3а6вг M2.П3а6вг M3.П3а6вг	M1.П4а6вг M2.П4а6вг M3.П4а6вг
типа MHB с противозадирными свойствами (химически активная)	MHF	M1.Па6вг M2.Па6вг M3.Па6вг	M1.П1а6вг M2.П1а6вг M3.П1а6вг	M1.П2а6вг M2.П2а6вг M3.П2а6вг	M1.П3а6вг M2.П3а6вг M3.П3а6вг	M1.П4а6вг M2.П4а6вг M3.П4а6вг
смазки пластичные, паста, парафины (в чистом виде или разбавленные маслами типа MHA)	MHG	П (П1, П2, П3, П4)	—	—	—	—
мыла, порошки, твердые смазочные материалы, их смеси (используются неразбавленными)	MHN	Т (Т1, Т2, Т3, Т4, Т5)	—	—	—	—

Продолжение табл. 2.

Международный стандарт ИСО 6743/7	Категория продуктов*	Класс L, группа M	Система классификации, предложенная НПО «МАСМА»	Индексация по степени детерминации присадок к типу присадок			
				III (присадок до 5%)	II2 (присадок 5—10%)	II3 (присадок 10—30%)	II4 (присадок более 30%)
Водосмешиваемые СОТС:	концентраты с антикоррозионными свойствами, дающие в воде муляжные эмульсии	MAA	Э1,0*	—	—	—	—
	концентраты типа MAA с антифризными свойствами	MAV	Э1,1а	Э1,1а	Э1,2а	Э1,3а	Э1,4а
	концентраты типа MAA для работы в тяжелых условиях	MAS	Э1,16вг	Э1,16вг	Э1,26вг	Э1,36вг	Э1,46вг
	концентраты типа MAV для работы при высоких давлениях	MAD	Э1,1а6вг	Э1,1а6вг	Э1,2а6вг	Э1,3а6вг	Э1,4а6вг
	концентраты с антикоррозионными свойствами, дающие в воде макроэмульсии	MAE	Э1,0*	—	—	—	—
	концентраты типа MAE с антифризными свойствами и (или) для работы при высоких давлениях	MAF	Э2,1а6вг	Э2,1а6вг	Э2,2а6вг	Э2,3а6вг	Э2,4а6вг
	концентраты с антикоррозионными свойствами, дающие в воде протрач-ные растворы	MAG	P,0* (P1,0, P2,0, P3,0)	—	—	—	—
	концентраты типа MAG с антифризными свойствами и (или) для работы при высоких давлениях	MAN	P,1а6вг	P,1а6вг	P,2а6вг	P,3а6вг	P,4а6вг
пластичные смазки и пасты, смешиваемые с водой		MAI	—	—	—	—	—

* Смазочный ингибитор коррозии

Примечание. Группы вязкости масел по ИСО 3448: M1—2, 3, 5, 7, 10; M2—15, 22; M3—32, 46, 68, 100

СОТС и установленных для них областях рационального применения.

В табл. 1 приведена классификация СОТС для обработки металлов, предложенная НПО «МАСМА» (г. Киев). Основные классификационные обозначения дополняются индексацией, указывающей на отсутствие или присутствие присадок (усиливающих смазочные свойства СОТС), уровень легирования присадками, тип и класс присадок.

Индексация типов присадок, усиливающих смазочные свойства СОТС, следующая:

- отсутствие присадок — О;
- присутствие присадки — П:
- маслорастворимой — ПМ, маслорастворимой, активной по отношению к меди — ПМ,
- водорастворимой — ПВ,
- масловодорастворимой — ПМВ,
- масловодонерастворимой — ПН.

Индексация степени легирования присадками, усиливающими смазывающие свойства СОТС, по степени содержания присадок (мас. доля, %), следующая: 1 — < 5 (невысокое содержание); 2 — 5—10 (умеренное); 3 — 10—30 (высокое); 4 — > 30 (очень высокое).

Классы присадок по химической природе имеют следующую индексацию: а — животные или растительные жиры, органические кислоты и сложные эфиры; б — галоидсодержащие; в — серосодержащие; г — фосфорсодержащие; д — азотсодержащие; е — содержащие другие активные элементы; ж — комплексные металлоорганические соединения; з — растворимые полимеры; и — органические наполнители; к — неорганические

наполнители; л — другие химические соединения.

Примеры классификационного обозначения СОТС.

Э1.ПМ.2.абв. — концентрат водосмешиваемой эмульгирующей СОТС, образующей в воде грубые дисперсии, активной по отношению к металлам, содержащей 5—10% (мас. долей) маслорастворимых галоид- и серосодержащих присадок и жировых добавок; М3.ПМ.3.абг — неактивная высоковязкая масляная СОТС с высоким содержанием жиров, галоид- и серосодержащих присадок.

Существует и международный стандарт ИСО 6743/7 «Смазочные материалы, промышленные масла и родственные продукты (класс L). Часть 7. Группа М (металлообработка)».

В табл. 2 приведено сопоставление систем классификации СОТС по международному стандарту и предложенной НПО «МАСМА» (классификационное обозначение СОТС по ИСО 6743/7 может содержать также указание класса вязкости по ИСО 3448, например L-МНА 32).

2. АССОРТИМЕНТ И ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СОТС

В промышленном масштабе освоено производство лишь жидких СОТС двух классов — масляных и водосмешиваемых и отдельных марок твердых и пластичных технологических смазок.

Масляные СОТС представляют собой минеральные масла с вязкостью 2—40 мм²/с при 50 °С без присадок или с присадками различного функционального назначения (антифрикционными, проти-

воизносными, противозадирными, ангиокислительными, моющими, антипенными, противотуманными, антикоррозионными и др.). Обладая хорошими смазочными свойствами, этот класс СОТС имеет ряд недостатков: низкую охлаждающую способность, повышенные испаряемость и пожароопасность, высокую стоимость.

Водосмешиваемые СОТС могут содержать минеральные масла, эмульгаторы, ингибиторы коррозии, биоциды, противоизносно-противозадирные присадки, антипенные добавки, электролиты, вещества-связки (вода, спирты, гликоли и др.) и другие органические и неорганические вещества. Водосмешиваемые СОТС обладают рядом преимуществ перед масляными: более высокой охлаждающей способностью, пожаробезопасностью и меньшей опасностью для здоровья станочников, сравнительно невысокой стоимостью рабочих растворов. Вместе с тем им присущ и ряд недостатков: сравнительно низкие смазочные свойства, невозможность применения в особо тяжелых условиях обработки металлов, необходимость решения вопросов разложения и утилизации отработанных водных растворов.

В табл. 3 приведен ассортимент современных отечественных жидких СОТС для обработки металлов резанием, а в табл. 4—5 даны их физико-химические характеристики*.

Отечественные СОТС существующего товарного ассортимента получили широкое применение в различных отраслях машиностроения, заменили десятки зарубежных СОТС, рекомендованных иностранными фирмами для нового технологического оборудования на ВАЗе и других предприятиях нашей страны (табл. 6).

Для более полного обеспечения потребностей машиностроения в высокоэффективных СОТС для обработки металлов резанием разработана структура базового ассортимента отечественных СОТС (табл. 7).

Из приведенных в табл. 7 данных следует, что большинство позиций в базовом ассортименте соответствуют новым серийно выпускаемым СОТС.

* Сведения о полимерсодержащих СОТС серии МХО, твердых и пластичных СОТС приведены соответственно в п. 3 и 6 этой главы

3. Ассортимент СОТС для обработки металлов резанием

Наименование (технические условия)	Классификационные обозначения СОТС	Водоотнимаемые СОТС	Область применения	Завод-изготовитель
Авитол-1 (ТУ ЗВ 5901193—89)	Э1.П3	Водоотнимаемые СОТС	3—5%-ные эмульсии при лезвийной и абразивной обработке легированных, жаропрочных сталей и сплавов, алюминированных сплавов	Львовский ОНМЗ
Антикат (ТУ 6 14865—85)	Э2.П2		2—5%-ные эмульсии при лезвийной и абразивной обработке сталей и сплавов	АО «Ивхимпром» (г. Иваново)
Азерол-2 (ТУ ЗВ 40229—86)	Э1.П4		3—5%-ные эмульсии при лезвийной и абразивной обработке труднообрабатываемых сталей и сплавов	Опытное производство ИХП АН Азербайджана (г. Баку)
Аксвил-1 (ТУ ЗВ 1011061—86)	Э2.П3		2—150%-ные растворы при лезвийной и абразивной обработке труднообрабатываемых легированных сталей и сплавов	Дрогобычский опытный завод (ДОЗ) НПО «МАСМА»
Аксвил-2 (ТУ ЗВ СССР 2-01-220—79)	Э1.П3		3—10%-ные эмульсии при обработке резанием средне- и труднообрабатываемых сталей и сплавов; не рекомендуются при обработке шестых металлов и сплавов	Бердичевский ОНМЗ
Аксвил-6 (ТУ ЗВ 101875—82)	Э1.П4	Водоотнимаемые СОТС	5—20%-ные эмульсии при обработке резанием коррозионно-стойких, высокопрочных сталей и титановых сплавов, а также при тяжелых условиях резания конструктивных сталей	Пермский завод смазок и СОЖ
Аксвил-10М (ТУ ЗВ 101931—83)	Р3.П3		3—10%-ные растворы при обработке резанием углеродистых, легированных, коррозионно-стойких, жаропрочных, жаропрочных, инструментальных сталей и сплавов, а также чугунов	ДОЗ НПО «МАСМА»

Наименование (технические условия)	Классификационные обозначения СОТС	Область применения	Завод-изготовитель
Аквол-11 (ТУ 38 101932—83)	Э2.П3	3—10%-ные растворы при обработке резанием углеродистых и легированных сталей, а также алюминиевых сплавов	ДОЗ НПО «МАСМА»
Аквол-14 (ТУ 38 101971—84)	Р3.П3	3—15%-ные растворы при лезвийной и абразивной обработке углеродистых и труднообрабатываемых легированных сталей и сплавов	То же
Аквол-15 (ТУ 38 5901162—88)	Э2.П3	3—5%-ные растворы при алмазно-абразивной обработке жаропрочных сплавов на железоникелевой основе	"
Аквол-16 (ТУ 38 5901145—90)	Р3.П3	3—5%-ные растворы при лезвийной и абразивной обработке чугунов, сталей и сплавов общемашиностроительного назначения в условиях гибких производственных систем	"
Аквол-18 (ТУ 38 5901134—90)	Э2.П4	3—8%-ные растворы при лезвийной обработке (сверлении, развертывании, нарезании резьбы, точении) алюминиевых сплавов	"
Аквемус (СОЖ 44) (ТУ 38 УССР 201341—84)	Э2.П3	Для приготовления 3—5%-ных эмульсий на воде с высокой жесткостью для обработки резанием черных металлов—сталей и чугунов	Бердянский ОНМЗ
Гидропол-1 (ТУ 38 УССР 201386—84)	Э1.П3	5%-ный раствор в смеси с абразивными порошками на операциях доводки шариков подшипников	То же
Гидропол-2 (ТУ 38 5901164—89)	Р3.П1	1—5%-ные растворы при шлифовании закаленных шариков подшипников	"

Карбамол-С1 (ТУ 38 5901173—89)	Р3.П3	2—5%-ные растворы при шлифовании углеродистых, легированных коррозионных сталей, жаропрочных сплавов	НИИ НП «МАСМА» (г. Киев)
Карбамол Э1у (ТУ 38 401138—88)	Э1.П3	2—5%-ные эмульсии при лезвийной и абразивной обработке конструкционных материалов	То же
НГЛ-205 (ТУ 38 101547—80)	Э1.П1	3—10%-ные эмульсии при точении, шлифовании и других видах обработки черных и цветных металлов	Рязанский НПЗ
Прогресс-13 (ТУ 6 0057446 8491—90)	Э2.П1	12—15%-ные растворы при лезвийной и абразивной обработке чугунов, сталей, сплавов, никеля, меди и алюминия	АО «Ивхимпром» (г. Иваново)
Паста «Резец» (ТУ 38 2011—75)	Э1.П3	3—5%-ные эмульсии при шлифовании, точении, растачивании, сверлении, фрезеровании, резбонарезании сталей, меди и ее сплавов	Бакинский НПЗ
Ризол (ТУ 38 1011295—80)	Э1.П2	3—5%-ные эмульсии при абразивной и лезвийной обработке сталей	Львовский ОНМЗ
РЗ-СОЖ 8 (ТУ 38 101258—80)	Э1.П3	5—8%-ные эмульсии при обработке резанием титановых и высокопрочных сплавов	Ростовский ОНМЗ
СДМУ-2 (ТУ 38 101546—80)	Э1.П1	5—10%-ные эмульсии на операциях точения, сверления, шлифования черных и цветных металлов	Рязанский НПЗ
Синма-1 (ТУ 38 5901176—89 «0»)	Р3.П3	2—5%-ные растворы при магнитно-абразивной обработке алюминия и его сплавов	НИИ НП «МАСМА»
Синма-2 (ТУ 38 5901176—89 «0»)	Р3.П3	2—5%-ные растворы при магнитно-абразивной обработке цветных металлов и легированных сталей	То же
Синтал-2 (ТУ 38 1011022—85)	Э1.П4	5—10%-ные эмульсии при лезвийной и абразивной обработке деталей подшипников	Фирма «Варя» (Горьковский ОНМЗ)
Синтал-2М (ТУ 38 1011060—86)	Э2.П4	1—3%-ные растворы на финишных операциях алмазно-абразивной обработки, в частности при хонинговании, чугуна	ДОЗ НПО «МАСМА», Новокуйбышевский НПЗ

Наименование (технические условия)	Классификационные обозначения СОТС	Область применения	Завод-изготовитель
Синхо-6 (ТУ 38 1011060—86)	РЗ.П4	3—5%-ные растворы на финишных операциях алмазно-абразивной обработки, в частности при хонинговании, легированных сталей и сплавов	ДОЗ НПО «МАСМА».
СКТБ ИНХП-2 (ТУ 38 АзССР 202271—80)	Р1.ПЗ	3%-ный раствор при обычном и скоростном силовом шлифовании сталей, порошковых материалов и лезвийной обработке чугунов, сталей и латуней	Опытный завод ИНХП АН Азербайджана
Эмульсол Т (ТУ 6-14-254—79)	Э1.П2	3—10%-ные эмульсии на различных операциях обработки резанием черных и цветных металлов	АО «Ивхимпром» (г. Иваново)
Тосол-ОИЗ (ТУ 6 02720—76)	РЗ.ПЗ	2—3%-ные растворы при шлифовании углеродистых и легированных сталей, чугунов	Казанский химический завод
Уверол (ТУ 38 5901183—89 «Ф»)	Э1.ПЗ	3—5%-ные эмульсии при лезвийной и абразивной обработке обшемашиностроительных сталей; 5—8%-ные водные эмульсии при обработке резанием алюминиевых сплавов	Пермский завод смазок и СОЖ
Укринол-1 (ТУ 38 101197—82), Укринол-1М (ТУ 38 101878—83)	Э1.П2	2—10%-ные эмульсии на различных операциях обработки резанием сталей, чугуна и цветных металлов	То же
ФМИ-5 (ТУ 38 3020—87)	Э1.ПЗ	3—5%-ные эмульсии при лезвийной и абразивной обработке углеродистых и легированных, в частности шарикоподшипниковых, сталей	АО «Ивхимпром» (г. Иваново)
ФМИ-6 (ТУ 38 3012—88)	Э1.ПЗ	2—10%-ные эмульсии при лезвийной и абразивной обработке чугунов, сталей, сплавов алюминия	АО «Ивхимпром» (г. Иваново), Львовский ОНМЗ

ШМ (ТУ 38 5901184—89)	Э1.П4	6—10%-ные эмульсии при шлифовании и полировании листов и полос из легированных и коррозионно-стойких сталей	Бердянский ОНМЗ, НПО «МАСМА»
ЭГТ (ТУ 38 101149—75)	Э1.П2	5—10%-ные эмульсии на операциях обработки резанием черных и цветных металлов	Ростовский ОНМЗ
Эдоксом (Э-2) (ТУ 38 УССР 201358—84)	Э1.П4	5%-ная эмульсия при грубом и тонком сферошлифовании стекла алмазным инструментом	Бердянский ОНМЗ
Эмульцид ЭТ-2 (ТУ 38 301409—89)	Э1.П2	3—5%-ные эмульсии при лезвийной и абразивной обработке металлов	Ростовский ОНМЗ
Эмус (ТУ 38 101174—81)	Э1.П1	3—5%-ные эмульсии на операции алмазного шлифования оптического стекла, а также резания черных и цветных металлов	Рязанский НПЗ
ЭТ-2 (ТУ 38 101599—75)	Э1.П2	5—10%-ные эмульсии при лезвийной и абразивной обработке чугунов, углеродистых и легированных сталей	Ростовский ОНМЗ
ЭТ-2у (ТУ 38 УССР 201299—80)			Бердянский ОНМЗ
ЯЗ (ТУ 38 601254—89)	Э1. П1	5%-ная эмульсия при лезвийной и абразивной обработке металлов	Ярославский НПЗ
Масляные СОТС			
ИСП-20 (ТУ 38 101756—78)	МЗ.П4	При шлифовании желобов колец подшипников качения	Новокуйбышевский НПЗ
ИСЭ-25 (ТУ 38 101412—76)	МЗ.0	На операциях зубообработки на станках «Глиссон», при раскатке внутренних поверхностей цилиндров	Рижский завод смазок и СОЖ
ЛЗ-СОЖ-1Т (ТУ 38 10185—79)	МЗ.П4	На операциях наружного резбонарезания сталей	С.-Петербургский ОНМЗ
ЛЗ-СОЖ-1МП (ТУ 38 30106—87)	МЗ.П4	На операциях протягивания сталей	То же

Наименование (технические условия)	Классификационные обозначения СОТС	Область применения	Завод-изготовитель
ЛЗ-СОЖ-1МИО (ТУ 38 101156—88)	МЗ.П4	На операциях шлифования, в том числе фасонного, сталей	С.-Петербургский ОНМЗ
ЛЗ-26 МО (ТУ 38 101157—88)	МЗ.П2	7%-ный раствор в минеральном масле (ЛЗ-СОЖ-2МИО) при обработке сталей на станках-автоматах; 20%-ный раствор в минеральном масле (ЛЗ-СОЖ-2МО) при протягивании, зубообработке, в том числе шевинговании, сталей	То же
ЛЗ-23М (ТУ 38 30107—87)	МЗ.П1	20%-ный раствор в минеральном масле (ЛЗ-СОЖ-1МО) при глубоком сверлении, зенкеро-вании, развертывании сталей	»
МР-1у (ТУ 38 101731—80)	М2.П2	На станках-автоматах на операциях точения, сверления, фрезерования, резбонарезания, протягивания и зубонарезания углеродистых, легированных коррозионно-стойких и жаропрочных сталей; не рекомендуется при обработке цветных металлов и сплавов	Фирма «Варя» (Горьковский ОНМЗ)
МР-2у (ТУ 38 УССР 2-01-205—77)	МЗ.П2	При обработке резанием углеродистых и легированных конструкционных сталей, цветных металлов и сплавов на станках-автоматах и полуавтоматах; при обработке медных сплавов на операциях точения, сверления, фрезерования, резбо- и зубонарезания, шлифования	Бердянский ОНМЗ
МР-3 (ТУ 38 УССР 2-01-254—83)	М1.П3	При обработке резанием конструкционных легированных и коррозионно-стойких сталей на операциях глубокого сверления, растачивания, резбо- и зубошлифования	То же
МР-4 (ТУ 38 101481—76)	М1.П4	При обработке резанием коррозионно-стойких, жаропрочных, жаростойких сталей и сплавов, а также алюминиевых и титановых сплавов на операциях протягивания, развертывания, точения, сверления, резбонарезания, фрезерования, шевингования	Фирма «Варя» (Горьковский ОНМЗ)
МР-5у (ТУ 38 10178—82)	МЗ.П3	При обработке резанием углеродистых, легированных, коррозионно-стойких, жаропрочных, инструментальных сталей на операциях резбонарезания, протягивания, развертывания, сверления, точения, фрезерования, шлифования и при работе на токарных автоматах. Применяется в виде 5—50%-ных растворов в минеральных маслах	То же
МР-6 (ТУ 38 УССР 2-01-290—81)	МЗ.П4	При обработке жаропрочных сталей, титановых сплавов и тугоплавких металлов на операциях нарезания резьбы, сверления, развертывания и протягивания	Бердянский ОНМЗ
МР-7 (ОСТ 38 01445—88)	МЗ.П1	На операциях точения, сверления, протягивания и автоматной обработки конструкционных сталей, а также некоторых труднообрабатываемых сталей и сплавов	Бердянский ОНМЗ, Оренбургский ОНМЗ, Ярославский НПЗ
МР-8 (ТУ 38 101955—86)	МЗ.П3	При обработке резанием медных сплавов, углеродистых сталей, некоторых труднообрабатываемых сталей и сплавов на операциях точения, фрезерования, сверления, резбонарезания, протягивания, зубообработки. Применяется в виде 5—50%-ных растворов в минеральных маслах	Фирма «Варя» (Горьковский ОНМЗ)
МР-9 (ТУ 38 101979—86)	МЗ.П2	При обработке резанием цветных металлов, углеродистых и легированных сталей на станках-автоматах и на отдельных операциях точения, сверления, развертывания, резбонарезания, зубообработки	То же

Наименование (технические условия)	Классификационные обозначения СОТС	Область применения	Завод-изготовитель
MP-10 (ТУ 38 101973—85)	M2.П2	На операциях силового шлифования инструментальных сталей (обработка канавок сверл, разверток, метчиков)	Фирма «Варя» (Горьковский ОНМЗ)
MP-11, MP-11/1 (ТУ 38 5901239—90)	M3.П2	При нарезании резьбы в труднообрабатываемых сталях и сплавах	НИИ НП «МАСМА», Ярославский НПЗ
MP-99 (ТУ 38 101877—84)	M3.П3	При обработке резанием углеродистых и легированных сталей, жаропрочных сплавов на операциях точения, сверления, фрезерования, резьбонарезания, протягивания, зубообработки. Применяется в виде 5—80%-ных растворов в минеральных маслах	ДОЗ НПО «МАСМА»
ОСМ-1 (ТУ 38 УССР 2-01-228—81)	M1.П1	На операциях хонингования и суперфиниширования сталей, чугунов, цветных металлов и сплавов	Львовский ОНМЗ
ОСМ-2к (ТУ 38 УССР 201445—85)	M1.П1	На операциях хонингования легированных коррозионно-стойких, закаленных сталей	То же
ОСМ-3 (ТУ 38 УССР 2-01-152—75)	M3.П1	При обработке резанием углеродистых и легированных конструкционных инструментальных сталей и чугунов на операциях сверления, развергивания, фрезерования и шлифования, а также при обработке коррозионно-стойких, жаропрочных, жаростойких сталей и сплавов на операциях фрезерования и шлифования	»

Наименование (технические условия)	Классификационные обозначения СОТС	Область применения	Завод-изготовитель
ОСМ-4 (ТУ 38 УССР 201393—82)	M1.П1	На операциях ленточного шлифования и полирования полиграфического цинка марки ЦМП	Львовский ОНМЗ
ОСМ-5 (ТУ 38 УССР 2-01-249—76)	M2.П2	При обработке резанием углеродистых и легированных конструкционных сталей на операциях зубообработки, сверления, резьбонарезания, точения, развертывания и шлифования; пригодна для работы на токарных автоматах	»
РЖ-3 (ТУ 38 101964—83)	M1.0	На операциях финишной алмазно-абразивной обработки (хонингования, полирования, доводки) металлов	ПО «Салават-нефтеоргсинтез»
РЖ-8 (ТУ 38 101883/83)	M1.0	На токарных и финишных (доводка, хонингование) операциях металлообработки	ПО «Ангарск-нефтеоргсинтез»
Укринол-20 (ТУ 38.5901275—90)	M1.П2	При лезвийной обработке высокоточных деталей из алюминиевых сплавов	НИИ НП «МАСМА»
ШП (ТУ 38 УССР 2-01-243—79)	M2.П3	На операциях шлифования и полирования металлических полос после прокатки	Львовский ОНМЗ

Примечания. 1. В таблице указаны как промышленно производимые СОТС, так и продукты, выпускаемые периодически, но имеющие действующую нормативно-техническую документацию.

2. СОТС MP-1у, MP-7, РЖ-8, ЭТ-2, ЭП поставляются централизованно организациями Госкомнефтепродукта, остальные СОТС—по договорам с изготовителями.

4. Физико-химические характеристики водосмешиваемых СОТС

Показатель	ГОСТ на метод определения	Автотол-1	Автокат	Автотол-1	Атерол-2	Аквол-2	Аквол-6	Аквол-10М	Автотол-11
Внешний вид	6243—75, п. 1	Концентрат однородная маслянистая жидкость							
Запах	Органолептический метод 3900—85	от светло-до темно-коричневого цвета	прозрачная	прозрачная от светло-желтого до коричневого цвета	темно-коричневого цвета	коричневого цвета	светло-коричневого цвета	коричневого цвета	прозрачная коричневого цвета
Плотность при 20° С, кг/м ³	33—82	Не более 40	40—75	Не более 30	×	40—75	Не более 55	8—15	Не более 40
Вязкость кинематическая ν , мм ² /с, при 50° С	21749—76, 17362—71	×	×	×	×	20—45	×	×	×
Число, мт КОН г: омыления	11362—76, 6707—76	10—40	Не более 25	32—47	×	Не более 8	Не более 4	Не менее 26	16—20
Содержание, мас. доля, %:	2477—65	×	×	×	Не более 25	2—5	Не более 4,6	×	×
воды	1431—85	×	×	×	Не менее 1,3	1,3—2,8	×	×	×
серы	20242—74	×	×	×	Не менее 6,0	3,2—4,7	11—14	×	×
хлора	6243—75, п. 5	Выдерживает	×	Выдерживает	×	×	×	Выдерживает	×
Стабильность: при низких температурах	6243—75, п. 6	Выдерживает	×	×	×	×	×	Выдерживает	×
при хранении									
Концентрация, мас. доля, %	—	3	3	3	5	7	5	3	3
Внешний вид	Визуальный метод	Молочно-белого цвета	Полупрозрачный раствор	Молочно-белого цвета	Светло-коричневого цвета	Молочно-белого цвета	Прозрачный раствор светло-желтого цвета	Полупрозрачный раствор	
pH	6243—75, п. 4	8—10	9,2—9,7	7,5—9,0	10—12	8—10	8—10	8—10	8,5—10,0
Склонность к пенообразованию, см ³ , не более	Метод НИИ НП «МАСМА» (см. %)	640	×	600	×	×	90	450	500
Устойчивость пены, см ³ , не более	То же	370	30*	300	×	×	50	100	200
Коррозионная агрессивность по отношению к металлам	6243—75, п. 2				Выдерживает				

Продолжение табл. 4

Показатель	ГОСТ на метод определения	Аквол-14	Аквол-15	Аквол-16	Аквол-18	Аквзмус	Гидропол-1	Гидропол-2
Внешний вид	6243—75, п. 1	Концентрат Однородная маслянистая жидкость:						
Запах	Органолептический метод 3900—85	от светло-до красно-коричневого цвета	от светло-до темно-коричневого цвета	от светло-до темно-коричневого цвета	от светло-до темно-коричневого цвета	Однородный продукт от коричневого до темно-коричневого цвета	Однородная маслянистая жидкость	Однородная маслянистая жидкость
Плотность при 20° С, кг/м ³	31—82	1000—1200	1000—1050	900—1100	900—1000	980—1200	×	1000—1200
Вязкость кинематическая ν , мм ² /с, при 50° С	21749—76, 17362—71	3—7	Не более 50	Не более 100	100	×	Не более 120	Не более 200
Число, мт КОН г: омыления	11362—76, 6707—76	×	×	×	×	Не менее 70	Не менее 200	Не менее 60
Содержание, мас. доля, %:	2477—65	×	×	×	×	Не более 60	Не более 85	×
воды	1431—85	×	×	×	×	Не более 25	Не более 5	Не более 10
серы	20242—74	×	×	×	×	×	×	×
хлора	6243—75, п. 5	Выдерживает	×	×	×	×	×	×
Стабильность: при низких температурах	6243—75, п. 6	Выдерживает	×	×	×	×	×	Выдерживает
при хранении								
Концентрация, мас. доля, %	—	3	3	3	5	3	5	3
Внешний вид	Визуальный метод	Бесцветный прозрачный раствор	Полупрозрачный раствор	Полупрозрачный раствор	Полупрозрачный раствор	Однородная жидкость светло-коричневого цвета	Однородная жидкость	Прозрачный раствор
pH	6243—75, п. 4	7—9	8,5—10,0	600	7,0—9,5	7,5—8,5	7—9	7,3—8,5
Склонность к пенообразованию, см ³ , не более	Метод НИИ НП «МАСМА» (см. %)	400				400	×	750
Устойчивость пены, см ³ , не более	То же	100	300	270	250	200	×	670
Коррозионная агрессивность	6243—75, п. 2				Выдерживает			

Показатель	ГОСТ на метод определения	Уверол	Укринол-1	Укринол-1М	ФМИ-5	ФМИ-6
Внешний вид	6243—75, п. 1	Концентрат				
Запах	Органолептический метод	Однородная маслянистая жидкость, коричневого цвета				
Плотность при 20 °С, кг/м ³	3900—85	800—1100	900—980	900—980	950—1100	950—1100
Вязкость кинематическая ν , мм ² /с, при 50 °С	33—82	Не более 50	30—60	20—50	Не более 200	50—180
Число мг КОН/г: омыления	21749—76, 17362—71	х	х	х	25—35	20—35
кислотное	11362—76, 6707—76	20—40	Не более 10	Не более 9	х	6—16
Содержание, мас. доля, %:						
воды	2477—65	х	Не более 6	Не более 5,5	6—12	0,5—4,0
серы	1431—85	х	х	х	х	х
хлора	20242—74	х	х	х	1—5	х
Стабильность: при низких температурах	6243—75, п. 5	Выдерживает	Выдерживает	х	х	х
при хранении	6243—75, п. 6				Выдерживает	
Концентрация, мас. доля, %	—	3	3	3	3	3
Внешний вид	Визуальный метод	Эмульсия или раствор				
pH	6243—75, п. 4	Эмульсия молочно-белого цвета				
Склонность к пенообразованию, см ³ , не более	Метод НИИ НП «МАСМА» (см. с. 96)	8—10	9—10	9—1	8—10	8—10
Устойчивость пены, см ³ , не более	То же	600	700	650	650	400
Коррозионная агрессивность по отношению к металлам	6243—75, п. 2	350	400	380	300	150
		Выдерживает				

Продолжение табл. 4

Показатель	ГОСТ на метод определения	ШМ	ЭГТ	Элоксом (Э-2)	Эмульсия ЭТ-2	Эмус	ЭТ-2	ЭТ-2у	ЯЗ
Внешний вид	6243—75, п. 1	Концентрат							
		коричневого цвета	от коричневого до темно-коричневого цвета		Однородная маслянистая жидкость: от коричневого до темно-коричневого цвета	от коричневого до темно-коричневого цвета		от светлого до светлого-коричневого цвета	
Запах	Органолептический метод	Специфический не раздражающий							
Плотность при 20 С, кг/м ³	3900—85	900—990	х	х	х	х	980—990	900—990	х
Вязкость кинематическая ν , мм ² /с, не более	33—82	Не менее 30	х	х	х	х	х	х	х
Число, мг КОН/г: омыления	21749—76 17362—71	25—30	х	Не менее 150	х	х	х	х	х
кислотное	11362—76, 6707—76	Не более 30	Не более 6	х	Не более 9	х	Не более 6	х	х
Содержание, мас. доля, %:									
воды	2477—65	2		Не более 10		Не более 30	Не более 6	Не более 5,0	15—25
серы	1431—85	х	х	х	х	х	х	х	х
хлора	20242—74	х	х	х	х	х	х	х	х
Стабильность: при низких температурах	6243—75, п. 5	х	Выдерживает	х	Выдерживает	х	Выдерживает	х	х
при хранении	6243—75, п. 6	Выдерживает	х	Выдерживает	х	х	х	Выдерживает	х
		Эмульсия или раствор							
Концентрация, мас. доля, %	—	10	3	5	5	5	5	10	5
Внешний вид	Визуальный метод	Эмульсия от белого до кремового цвета	Эмульсия молочно-белого цвета						
pH	6243—75, п. 4	8—10	9—10	7,5—9,5	Не более 10	х	9—10	х	9,5—11,0
Склонность к пенообразованию, см ³ , не более	Метод НИИ НП «МАСМА» (см. с. 96)	х	100	400	х	х	100	х	х
Устойчивость пены, см ³ , не более	То же	х	40	200	х	х	40	х	х
Коррозионная агрессивность по отношению к металлам	6243—75, п. 2	Выдерживает							

° При 100 °С.

°° Высота пены, см.

Примечание. Здесь и далее в таблицах знак «х» означает, что показатель не нормируется.

5. Физико-химические характеристики масляных СОТС

Показатель	ГОСТ на метод определения	ИСЭ-25	ЛЗ-СОЖ-1МИО
Внешний вид	6243—75, п. 1	Однородная прозрачная жидкость	Жидкость от коричневого до темно-коричневого цвета
Запах	Органолептический метод	Специфический для минеральных масел	Специфический для минеральных масел
Плотность при 20 °С, кг/м ³	3900—85	Не более 900	900
Вязкость кинематическая ν , мм ² /с, при 50 °С	33—82	23,7—27,0	19,4—24,5
Температура вспышки в открытом тигле, °С, не ниже	4333—87	190	156
Число, мг КОН/г: кислотное, не более омыления	11362—76 21749—76	0,1 Не более 0,3	1,5 9—22
Содержание, мас. доля, %: серы	3877—49; 1431—85	—	0,39—1,10
фосфора	9827—75	—	—
хлора	7188—54; 20242—74	—	0,3—0,6
воды	2477—65	—	—
механических примесей, не более	6370—83	—	х
Коррозионная агрессивность к металлам	2917—76	х	х
Стабильность при хранении	6243—75, п. 6	х	Выдерживает

Показатель	ГОСТ на метод определения	МР-1у	МР-2у
Внешний вид	6243—75, п. 1	Прозрачная маслянистая жидкость от желтого до коричневого цвета	от светло-коричневого до коричневого цвета
Запах	Органолептический метод	Специфический для минерального масла	Специфический для минерального масла
Плотность при 20 °С, кг/м ³	3900—85	800—930	860—950
Вязкость кинематическая ν , мм ² /с, при 50 °С	33—82	18—24	23—28
Температура вспышки в открытом тигле, °С, не ниже	4333—87	175	180
Число, мг КОН/г: кислотное, не более омыления	11362—76 21749—76 11362—76	1,5 х х	1,0 х х
Общая щелочность мг КОН/г, не менее			
Содержание, мас. доля, %: серы	3877—49; 1431—85	0,7—1,5	—
фосфора	9827—75	—	0,05—0,25
хлора	7188—54; 20242—74	1,0—1,6	1,4—2,0
воды	2477—65	—	—
механических примесей, не более	6370—83	0,035	0,04
Коррозионная агрессивность к металлам: стали 40 или 50 меди МО/М1	2917—76	х	Выдерживает
Стабильность при хранении	6243—75, п. 6		

ЛЗ-СОЖ-4МП	ЛЗ-СОЖ-1Т	ЛЗ-26МО	ЛЗ-23М
Маслянистая жидкость темного цвета вот масла	Однородная жидкость Легкий характерный	Прозрачная жидкость от коричневого до темно-ко- ричневого цвета Специфический для	Маслянистая жидкость тем- ного цвета минерального масла
х 18,5—35,0 158	х 24,5—29,4 х	940 20—28 156	х 40,5—59,2 156
1 70—140 1,0—2,5 14,5—17,5	6 167—180 х х	3,6 35—60 3,5—5,0 0,7—1,5	4 35—60 1,3—3,0 1,2—1,8 Не более 0,06
х х	Следы х х	0,1 х	0,1 х
живает	х		Выдерживает

Продолжение табл. 5

MP-3	MP-4	MP-5y	MP-6	MP-7
Однородная мас- лянистая жид- кость коричневого цвета не раздражающий	Маслянистая жидкость светло-коричневого цвета	Однородная прозрач- ная маслянистая жид- кость от светло-ко- ричневого до корич- невого цвета Специфический для минерального масла	Маслянистая жид- кость от светло- коричневого до коричневого цвета	Маслянистая жид- кость коричневого цвета
850—915 5—17 125	910—1100 5—10 120	860—960 30—40 185	920—1000 20—30 180	800—930 23—30 180
2,0 Не менее 20 20	х х 1,5	х х 40	х х х	1,2 х х
1,0—2,2 Не менее 0,02 — 0,04	— 15—18 — 0,04	1,5—3,0 — 0,5—1,4 — 0,04	0,5—1,0 — 11,0—15,0 — 0,04	1,2—2,0 — — — 0,04
Выдерживает х	Выдерживает Выдерживает	х	х	х

Показатель	ГОСТ на метод определения	МР-8	МР-9
Внешний вид	6243—75, п. 1	Однородная светлая от светло- до темно-коричневого цвета	
Запах	Органолептический метод	Специфический не раздражающий	
Плотность при 20 °С, кг/м ³	3900—85	870—950	860—920
Вязкость кинематическая ν , мм ² /с, при 50 °С	33—82	25—40	20—30
Температура вспышки в открытом тигле, °С, не ниже	4333—87	190	190
Число, мг КОН/г: кислотное, не более омыления	11362—76 21749—76	1,5 —	2,0 —
Содержание, мас. доля, % серы	3877—49, 1431—85	0,7—1,5	0,5—1,5
фосфора	9827—75	—	0,05—0,25
хлора	7188—64; 20242—74	5—7	1,8—3,0
воды	2477—65	—	—
механических примесей	6370—83	—	—
Коррозионная агрессивность к металлам:	2917—76	—	—
стали 40 или 50			
меди М0/М1			Выдерживает
Стабильность при хранении	6243—75, п. 6		

Показатель	ГОСТ на метод определения	ОСМ-1	ОСМ-2х	ОСМ-3
Внешний вид	6243—75, п. 1	Однородная маслянистая светлая от желтого до темного цвета		
Запах	Органолептический метод	Специфический		
Плотность при 20 °С, кг/м ³	3900—85	870—880	860—900	850—910
Вязкость кинематическая ν , мм ² /с, при 50 °С	33—82	Не выше 5,8	Не выше 3,7	Не выше 28*
Температура вспышки в открытом тигле, °С, не ниже	4333—87	9,4	90	138
Число, мг КОН/г: кислотное, не более омыления	11362—76 21749—76	х х	х х	0,7 12,8—13
Содержание, мас. доля, %: серы	1431—85	0,2	0,6—1,4	0,40—0,44
фосфора	9827—75	х	х	0,18—0,22
хлора	20242—74	3,4—3,5	х	0,40—0,90
воды	477—65	—	—	—
механических примесей	6370—83	Не более 0,027	—	—
Коррозионная агрессивность к металлам:	2917—76	—	—	—
стали 40 или 50				
меди М0/М1		Выдерживает	х	
Стабильность при хранении	6243—75, п. 6			

* При 20 °С.

Продолжение табл. 5

MP-10	MP-11	MP 11/1	MP-99
прозрачная маслянистая жидкость светлого цвета			Однородная маслянистая жидкость темно-коричневого цвета
Специфический минерального масла			Специфический не раздражающий
800—930 12,0—16,5	880—930 25—60	880—920 25—35	880—950 25—40
175	190	190	150
Не менее 11,0	1,0	Не менее 1,5	3,0 40—70
0,05—0,20 1,2—1,7	Не менее 1,5	Не менее 1,5	3,5—5,0 1,1—1,6
Не более 0,04			
Выдерживает			4в—4с
Выдерживает			4в—4с

Продолжение табл. 5

ОСМ-4	ОСМ-5	РЖ-3	РЖ-8	Уриол-20	ШП
жидкость светло-коричнево-желтого цвета не раздражающий		бесцветная	Прозрачная жидкость: соломенного цвета		Однородная прозрачная маслянистая жидкость
850—875 Не выше 4,5	880—960 10—18	х Не выше 3°	х 6,0—8,5°	800—900 4—10	900—970 Не выше 18,5
100	160	80 (в закрытом тит.лс)	120 (в закрытом тит.лс)	130	165
х х	х х	0,5 х	0,03 х	1,0 Не менее 7,0	0,4 х
0,2—0,5 х 0,7—0,9 —	0,9—2,5 х 3,5—4,9 Не более 0,02	Не более 0,03 х х —	Не более 0,01 х х —	— — Не менее 1,0 Не более 0,04	Не менее 0,5 х 5—7° 0,01
Выдерживает		Выдерживает	Выдерживает	Выдерживает	Выдерживает

6. Отечественные СОТС для обработки металлов резанием, обеспечивающие замену зарубежных СОТС на машиностроительных предприятиях страны

Отечественные СОТС	Заменяемые зарубежные СОТС	
	Наименование	Фирма (страна)
Аквапол-1	D-214K	ЦМТ Интернешинл (Швейцария)
Аквапол-2	Trim Sol (Трим Сол)	«Мастер Кемикл» (США)
Аквапол-6	Superedge 7 (Супередж 7)	«Барма-Кастрол» (Англия)
	Cimperial T22 (Симпериал Т22)	«Цинциннати Милакрон» (США)
Аквапол-10М	Kutwell 70 (Катвелл 70)	«Эксон» (США)
	Ucon 660 (Юкон 660)	«Юнион Карбайд» (США)
	Cutora M2 (Кутора М2)	«Бритиш Петролеум» (Англия)
	Mobilmet C250 (Мобилмет C250)	«Мобил Ойл» (США)
	Cimperial 12 (Симпериал 12)	«Цинциннати Милакрон» (США)
Аквапол-11	Schell Dromus Fluid E (Шелл дромус флюид Е)	«Шелл» (Англия — Голландия)
	Cutora M (Кутора М)	«Бритиш Петролеум» (Англия)
	MDM Soluble (МДМ Солюбл)	«Миллойл» (Италия)
	Transol (Трансол)	«Мастер Кемикл» (США)
	Codol 100 (Кодол 100)	«Стюарт Ойл» (США)
Аквапол-14	Cimcool E5 Stars (Симкул Е5 старс)	«Цинциннати Милакрон» (США)
	Cimperial 10 (Симпериал 10)	
Аквапол-16	Solution G613 (Солюшн G613)	«ЦМТ Интернешинл» (Швейцария)
Гидропол-1	Aquasol 130 (Аквазол 130)	
Карбамол-С1	Cress C5K (Кресс C5K)	«Франклин Ойл Кор.» (США)
	Kutwell 60 (Катвелл 60)	«Эксон» (США)
	Clearedge E (Клиредж Е)	«Барма-Кастрол» (Англия)
	Energol SB40 (Энергол SB40)	«Бритиш Петролеум» (Англия)
	Fedaro G (Федаро G)	

Продолжение табл. 6

Отечественные СОТС	Заменяемые зарубежные СОТС	
	Наименование	Фирма (страна)
Карбамол-Элу РЗ-СОЖ8	Mobilmet 140 (Мобилмет 140) Fedaro H (Федаро H)	«Мобил Ойл» (США) «Бритиш Петролеум» (Англия)
Синтал-2	Cimperial T20 (Симпериал T20)	«Цинциннати Милакрон» (США)
Синхо-2М	Universal 1-37 (Юниверсаль 1-37)	«ЦМТ Интернэшнл» (Швейцария)
Укринол-1, Укринол-1М	Codol 995 (Кодол 995)	«Стюарт Ойл» (США)
	Solvac 77 (Сольвак 77) Solvac 1535 (Сольвак 1535) Mobilmet 122 (Мобилмет 122)	«Мобил Ойл» (США)
	OE/C OE ST	«Фиат» (Италия)
	MDM 638 (МДМ 638)	«Миллойл» (Италия)
	Shell Dromus Oil: B, C (Шелл дромус Ойл: B, C) Katwell 40 (Катвелл 40)	«Шелл» (Англия—Гол- ландия) «Эксо» (США)
ФМИ-5	Fuer Super 160 (Фуер Супер 160)	«Мобил Ойл» (США)
ШМ	Mobilmet 120 (Мобилмет 120)	
ЛЗ-СОЖ-1Т	DC, LC	«Фиат» (Италия)
	Milloil CB/1 (Миллойл CB/1)	«Миллойл» (Италия)
ЛЗ-СОЖ-1МП	Esp-600 (Есп-600) Milloil EL/6 (Миллойл EL/6)	«Фиат» (Италия) «Миллойл» (Италия)
ЛЗ-СОЖ-1МИО	Machinery 16 (Мачинери 16), Acot 41/58 (Акот 41/58)	«Миллойл» (Италия)
	ИТ 81N (ИТ 81N) Mobilmet 27 (Мобилмет 27)	«Фиат» (Италия) «Мобил Ойл» (США)

Продолжение табл.

Отечественные СOTC	Заменяемые зарубежные СOTC	
	Наименование	Фирма (страна)
ЛЗ-СОЖ-1МИО	Energol GFS 55, GFS 80 (Энергол GFS 55, GFS 80) Schell Macron Oil A (Шелл макрон ойл А) Grinding Oil 40 (Гриндинг Ойл 40)	«Бритиш Петролеум» (Англия) «Шелл» (Англия — Голландия) «Эксон» (США)
ЛЗ-СОЖ-2МИО	Acot 41/21 (Акот 41/21) ITX 121 Fanox 40 (Фанокс 40) Schell Garia Oil C (Шелл гариа Ойл С)	«Миллойд» (Италия) «Фиат» (Италия) «Эксон» (США) «Шелл» (Англия — Голландия)
ЛЗ-СОЖ-1МО	ИТС 41	«Фиат» (Италия)
ЛЗ-СОЖ-2МО	ИТ 99 41 Schell Garia Oil D (Шелл гариа Ойл D) Dortan 44 (Дортан 44) Mobilmet 24 (Мобилмет 24) Energol CFS 50 (Энергол CFC 50) Acot 53/71 (Акот 53/71)	«Фиат» (Италия) «Шелл» (Англия — Голландия) «Эксон» (США) «Мобил Ойл» (США) «Бритиш Петролеум» (Англия) «Миллойд» (Италия)
ЛЗ-26МО	ИТ 99	«Фиат» (Италия)
ЛЗ-23М	ИТС	
МР-1у	Dortan 37 (Дортан 37) Mobilmet 24 (Мобилмет 24) Energol CFC (Энергол CFC)	«Эксон» (США) «Мобил Ойл» (США) «Бритиш Петролеум» (Англия)
МР-2у	Dortan 53 (Дортан 53) Macron Oil C (Макрон Ойл С)	«Эксон» (США) «Шелл» (Англия — Голландия)
МР-3	Mobilmet 25 (Мобилмет 25) Schell Garia Oil T (Шелл гариа Ойл Т) Uniplus 5—30 (Юниплас 5—30)	«Мобил Ойл» (США) «Шелл» (Англия — Голландия) «ЦМТ Интернешинл» (Швейцария)

Продолжение табл. 6

Отечественные СОТС	Заменяемые зарубежные СОТС	
	Наименование	Фирма (страна)
MP-4 MP-5y	Dortan 33 (Дортан 33) Thredkut 99 (Тредкат 99) Dortan 36 (Дортан 36) Energol CFS 80 (Энергол CFS 80)	«Эксон» (США) «Стюарт Ойл» (США) «Эксон» (США) «Бритиш Петролеум» (Англия)
MP-6 MP-7	Dasco 4811 (Даско 4811) Mobilmet 427 (Мобилмет 427)	«Стюарт Ойл» (США)
MP-8	Mobilmet 455 (Мобилмет 455) Mobil Vacmul 176 (Мобил Вакмул 176)	«Мобил Ойл» (США)
MP-9	Mobilmet 458 (Мобилмет 458)	
MP-10	Sungrind 600, 600X, 602—330C (Сайнграинд: 600, 600X, 602—330C)	«Сан Ойл» (США)
MP-11	Mobilmet Gamma (Мобилмет Гамма)	«Мобил Ойл» (США)
MP-99	Mobilmet 29 (Мобилмет 29) Sevora 46 (Севора 46)	
ОСМ-1	Honilo 480, 481 (Хонило : 480, 481) Honoplus (Хонолплюс)	«Барма-Кастрол» (Англия)
	Mobilmet 22 (Мобилмет 22)	«Мобил Ойл» (США)
	Mobil Vacmul 03c (Мобил Вакмул 03c)	
ОСМ-2к	Dortan 56 (Дортан 56)	«Эксон» (США)
	Honilo 131, 170 (Хонило: 131, 170)	«Барма-Кастрол» (Англия)

Отечественные СОТС	Производство импорт. в	
	Наименование	Фирма (страна)
ОСМ-3	СМТ Cool (СМТ Кул 1-99) Монли 430 (Хонгко 430)	«СМТ Интернешнл» (Швейцария) «Барма-Кастрол» (Англия)
ОСМ-4	Gulf-Gulfcut 45A (Галф + + Галфкат-45А) Финох (Финокс)	«Галф Ойл» (США) «Эксон» (США)
ОСМ-5	Dorlan 32 (Дортан 32) Supra 502, 503, 504 (Супрако: 502, 503, 504)	«Эксон» (США) «Мотул» (Франция)
РЖ-8	Shell Macton Oil 5 (Шелл мактон Ойл 5)	«Шелл» (Англия — Голландия)
Укринол-20	Shell Speed K8 (Шелл спид К8)	
ШП	Shell Garia Oil D (Шелл гария Ойл D)	
СЭЛ-1	OSM	«Фиат» (Италия)
Натриол-1М	F 26	«Милдройл» (Италия)
	Sox LWS (Сок ЛУС)	

7. Области применения СОТС отечественного ассортимента для обработки металлов резанием

Структура ассортимента СОТС		Область применения СОТС	
Класс и подкласс	Наименование*	преимущественного (наиболее эффективного и распространенного)	дополнительного

СОТС массового назначения

Водосмешиваемые: эмульгирующаяся в воде, для широкого круга опе- раций обработки матери- алов нормальной обраба- тываемости резанием	Укринол-1, Укри- нол-1М, Уверол, Карбамол-Э1у, Ак- вэкус, ФМИ-6, Ри- зол, Эмульцид ЭТ-2, ЭТ-2, ЭТ-2у, Эмуль- сол Т, «Резец», ЯЗ, НГЛ-205, ЭГТ	Точение, растачивание, отрезка, фрезерование, сверление, зенке- рование, развертывание, строга- ние, резбонарезание, протягива- ние, шлифование чугунов, углеро- дистых, низко- и среднелегиро- ванных конструкционных сталей, некоторых цветных металлов и сплавов	Лезвийная и абразивная обра- ботка меди, алюминия и их сплавов. Шлифование, точение, сверление, фрезерование неко- рых коррозионно-стойких и жаростойких сталей и спла- вов, инструментальных сталей (Укринол-1, Укринол-1м, Уве- рол, Карбамол-Э1у)
полусинтетическая	Аквол-11, Прогресс-13	Точение, растачивание, отрезка, фрезерование, строгание, сверле- ние, зенкерование, развертывание, резбонарезание, протягивание, шлифование конструкционных уг- леродистых и легированных ста- лей, алюминиевых сплавов	Лезвийная и абразивная обра- ботка чугунов, некоторых жа- ростойких и жаропрочных ста- лей и сплавов. Алмазно-абра- зивная резка кремния (Ак- вол-11)

Структура ассортимента СОРС		Область применения СОРС	
Класс и подкласс	Наименование*	преимущественного (наиболее эффективного и распространенного)	дополнительного
синтетическая	Аквол-10М, Аквол-16, СКТБ ИНХП-2, Тосол-ОИЗ	Точение, растачивание, отрезка, фрезерование, сверление, зенкерование, развертывание, резьбонарезание, шлифование чугунов, конструкционных углеродистых и легированных, коррозионно-стойких и инструментальных сталей, некоторых цветных металлов и сплавов, в том числе в условиях гибких производственных систем (Аквол-16). В основном шлифовальные операции (Тосол-ОИЗ)	Алмазно-абразивная обработка, заточка твердых (порошковых) сплавов, разрезка ферритов, шлифование магнитно-мягких материалов. Лезвийная и абразивная обработка некоторых труднообрабатываемых материалов. Магнитно-абразивная обработка металлов (Аквол-10М)
Масляные СОРС: для широкого круга операций обработки (в том числе автоматной) материалов нормальной обрабатываемости резанием	MP-7, MP-1y, OCM-3 OCM-5, MP-2y, MP-9, ЛЗ-СОЖ- 2МИО	Обработка на токарных автоматах одно- и многошпиндельных и полуавтоматах (в том числе точение, отрезка, сверление, зенкерование, резьбонарезание), фрезерование, зубообработка конструкционных углеродистых и легированных сталей. Те же операции обработки чугунов (OCM-3), цветных металлов и сплавов (MP-2y, MP-9, OCM-5)	Лезвийная обработка некоторых коррозионно-стойких и жаростойких сталей (в том числе глубокое сверление отверстий диаметром более 40 мм), резьбо- и зубошлифование (MP-7). Шевингование (OCM-5). Финишные операции: шлифование, хонингование, суперфиниширование, полирование чугунов и сталей (OCM-3)
концентрат, разбавляемый минеральными маслами	MP-99, MP-5y, MP-8, ЛЗ-26МО	Точение, растачивание, отрезка, фрезерование, сверление, протягивание, зубообработка, резьбонарезание конструкционных углеродистых и легированных сталей	Лезвийная обработка некоторых труднообрабатываемых материалов (MP-99, MP-5y), цветных металлов и сплавов (MP-8)

СОРС специального назначения

Водосмешиваемые:

эмульгирующие в воде:
для широкого круга операций обработки труднообрабатываемых материалов (коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов)

Аквол-2, Аквол-6,
Авитол-1, Синтал-2,
МХО-64а, РЗ-СОЖ-8,
ФМИ-5, СДМУ-2,
Азерол-1

Точение, растачивание, отрезка, фрезерование, сверление, зенкерование, развертывание, протягивание, шлифование легированных инструментальных, конструкционных коррозионно-стойких, высокопрочных, жаропрочных и жаростойких сталей и сплавов, в том числе титановых сплавов (РЗ-СОЖ 8) и шарикоподшипниковых сталей (Синтал-2, ФМИ-5)

Лезвийная и абразивная обработка титановых сплавов, стальных отливок (Аквол-6, Авитол-1), углеродистых сталей (СДМУ-2), в том числе на повышенных режимах резания (Аквол-6, Синтал-2). Шлифование стекла (Синтал-2). Алмазная резрезка кварца (Аквол-6)

для шлифования и полирования проката сталей

ШМ

Шлифование листов и полос проката легированных сталей

для шлифования оптического стекла

Эдоксом, ЭМУС

Шлифование стекла

Лезвийная и абразивная обработка стали и чугуна

многоцелевая:

Необходима разработка новой СОРС

Обработка металлов на токарных автоматах, использование в гидравлической и смазочной системах станков

полусинтетические:
для широкого круга операций обработки труднообрабатываемых материалов

Аквапол-1

Точение, растачивание, отрезка, фрезерование, сверление, зенкерование, развертывание, протягивание высоколегированных, коррозионно-стойких, жаропрочных и жаростойких сталей и сплавов, инструментальных сплавов

Лезвийная обработка углеродистых сталей, сплавов алюминия. Алмазно-абразивная обработка оптического стекла

для широкого круга операций обработки сплавов алюминия

Аквол-18

Различные операции лезвийной и абразивной обработки сплавов алюминия

Лезвийная и абразивная обработка сталей

Структура ассортимента СОТС		Область применения СОТС	
Класс и подкласс	Наименование*	преимущественного (наиболее эффективного и распространенного)	дополнительного
для силового шлифования труднообрабатываемых материалов	Аквол-15	Операции абразивного и алмазного шлифования, в том числе силового, профильного и ленточного, жаропрочных и жаростойких сталей и сплавов	Шлифование и заточка режущего инструмента
для централизованных фильтрующих систем автоматических линий	Автокат, мол-П1 (СОТС)	Широкий круг операций лезвийной и абразивной обработки материалов нормальной обрабатываемости резанием	Использование в станках с автономной системой циркуляции СОТС (Автокат)
для хонингования и суперфиниширования чугунов и сталей	Синхо-2М	Алмазно-абразивное хонингование чугунов и некоторых сталей	Суперфиниширование, доводка, полирование чугунов, шлифование сталей (Синхо-2М)
синтетические: для широкого круга операций обработки труднообрабатываемых материалов	Аквол-14	Точение, растачивание, отрезка, фрезерование, сверление, зенкерование, развертывание, протягивание, шлифование конструкционных высоколегированных, коррозионно-стойких, жаростойких и жаропрочных сталей и сплавов, инструментальных сталей	Лезвийная и абразивная обработка углеродистых конструкционных сталей, чугунов
для хонингования и суперфиниширования закаленных сталей	Синхо-6	Алмазно-абразивное хонингование закаленных сталей	Суперфиниширование, доводка, полирование закаленных сталей
для магнитно-абразивной обработки металлов	Синма-1, Синма-2	Магнитно-абразивное шлифование алюминия и его сплавов (Синма-1), легированных сталей и цветных металлов (Синма-2)	Шлифование сталей и цветных металлов и сплавов
для алмазно-абразивной доводки	Гидропол-1	Абразивная доводка и полирование сталей, в том числе шарикоподшипников	Алмазная разрезка слитков кремния

для шлифования шариков подшипников	Гидропол-2	Абразивное шлифование незакаленных шариков подшипников	Алмазно-абразивное шлифование, в том числе глубинное и силовое, легированных сталей, жаропрочных сплавов, твердых порошковых сплавов, режущей керамики, ферритов
для алмазной заточки инструмента	Карбамол-С1	Алмазная заточка инъекционных игл из коррозионно-стойкой стали	
Масляные: многоцелевая	МР-2у, МР-9	Точение, фрезерование, сверление, обработка на токарных автоматах, шлифование сталей, цветных металлов и сплавов	Служит в качестве СОТС, гидравлической жидкости и смазочной среды
для глубокого сверления	МР-3, ЛЗ-СОЖ, ІМО	Глубокое сверление легированных конструкционных сталей	Сверление, растачивание, резбо- и зубошлифование конструкционных сталей (МР-3)
для обработки титановых сплавов	МР-4	Точение, сверление, фрезерование, резбонарезание, протягивание, шлифование титановых сплавов, коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов	Лезвийная и абразивная обработка алюминиевых сплавов. Зубообработка легированных сталей
для обработки алюминиевых сплавов	Укринол-20, ОСМ-3	Лезвийная обработка высокоточных деталей	
для резбонарезания, развертывания, протягивания труднообрабатываемых материалов	МР-6, МР-99, ЛЗ-СОЖ-ІТ, ЛЗ-СОЖ-ІМП, МР-11	Резбонарезание, протягивание, развертывание отверстий в коррозионно-стойких, высокопрочных сталях, жаропрочных сплавах	
для автоматной обработки труднообрабатываемых сталей и сплавов	МР-99, МР-6	Автоматная обработка труднообрабатываемых сталей и сплавов	
для обработки магниевых сплавов	Необходима разработка новой СОТС	Различные операции лезвийной обработки магниевых сплавов	

Продолжение табл. 7

Структура ассортимента СОТС		Область применения СОТС	
Класс и назначение	Наименование*	преимущественного (наиболее эффективного и распространенного)	дополнительного
для шлифования цинка и его сплавов для шлифования сталей	ОСМ-4 ЛЗ-СОЖ-1МИО, ОСМ-3	Различные операции абразивной обработки цинка и его сплавов Шлифование, в том числе профильное, углеродистых и легированных сталей	—
для шлифования проката сталей	ШП	Шлифование, в том числе ленточное, и полирование листов и полос коррозионно-стойких сталей	—
для хонингования чугунов	ОСМ-1, РЖ-8	Алмазно-абразивное конингование, суперфиниширование, полирование чугунов	Лезвийная обработка коррозионно-стойких сталей
для хонингования закаленных сталей	ОСМ-2к, РЖ-3	Хонингование закаленных сталей	Финишные операции обработки углеродистых и низколегированных закаленных сталей Лезвийная обработка магния и его сплавов (ОСМ-1), сталей на станках-автоматах (РЖ-8) Лезвийная обработка и шлифование алюминиевых сплавов (ОСМ-2к)
для профильного шлифования инструментальных сталей для зубообработки	МР-10 НСЗ-25, ЛЗ-СОЖ-2МО, ОСМ-5, МР-4	Профильное слесовое шлифование инструментальных и конструктивных легированных сталей Зубообработка углеродистых и конструктивных легированных сталей	Алмазная резка киярида (ОСМ-1)
на легковспариваемой обработке нового	Необходимая раздача нового СОТС	Лезвийная обработка шкотов из различных металлов	—

* СОТС перечислены в порядке предпочтительности и массовости применения.

3. ПОЛИМЕРСОДЕРЖАЩИЕ СОТС

Основой полимерсодержащих СОТС являются высокомолекулярные соединения с определенными, заранее заданными физико-химическими свойствами.

Установлены основные физико-химические закономерности влияния полимерных составов на процесс обработки твердых тел: оптимальные режимы применения полимерсодержащих сред при обработке резанием и давлением находятся в области повышенных режимов, значительных усилий деформирования металлов и высоких температур;

проявляется характерная зависимость эффективности полимерных составов от химической природы полимеров, их физико-химических характеристик, в частности от молекулярной массы, концентрации в смазочной среде;

при использовании полимерсодержащих составов проявляется характерная зависимость эффективности обработки от физико-механических и физико-химических свойств обрабатываемого материала; зависимость стойкости режущего инструмента от скорости обработки, как правило, имеет характер кривой с максимумом.

СОТС серии МХО выпускаются промышленными и опытно-промышленными партиями на Львовском нефтеперерабатывающем заводе, Калушском ПО «Хлорвинил», Дрогобычском опытно-нефтемаслозаводе, ПО «Полимер» (г. Ново-Полоцк) и др.

Ниже приведены физико-химические, функциональные, санитарно-гигиенические, антикоррозионные и биологические свойства не-

которых полимерсодержащих СОТС.

Полимерные СОТС* обладают хорошими противозадирными свойствами (характеристики P_s и P_c для этой среды значительно выше, чем для СОТС Укринол-1 и масла И-12А). При оценке противоизносных свойств среды выделяют параметры A_n — удельную работу износа, D_n — диаметр пятна износа. Удельная работа износа A_n для СОТС МХО-64а в 8 раз превышает A_n для СОТС МХО-62, при этом диаметр пятна износа D_n для СОТС МХО-62 в 1,75 раза больше, чем для МХО-64а. Диаметры пятен износа при нагрузках 63 и 100 кг для упомянутых выше составов отличаются несущественно. Невысокое значение удельной работы износа A_n для МХО-62 свидетельствует о высоких диспергирующих свойствах среды, которые обуславливают преимущественное применение этого состава на финишных операциях абразивной обработки. Среды, для которых $A_n > 4 \cdot 10^9$ кДж/м², эффективны для лезвийной обработки, так как способствуют повышению стойкости режущего инструмента, что имеет реальное подтверждение для СОТС МХО-64а. Смачивающие свойства, оцениваемые параметром D_{pc} для среды МХО-62, несколько выше, чем для МХО-64а. Антифрикционные свойства, характеризующиеся коэффициентом трения τ , значительно выше для СОТС МХО-64а, предназначенной для лезвийной обработки.

Санитарно-гигиенические свойства. Полимерсодержащие концен-

* В качестве примера приведены данные испытаний только МХО-64а и МХО-62.

траты СОРС МХО по степени воздействия на организм относятся к веществам IV класса опасности (малоопасные вещества) по ГОСТ 12.1.007—76. Они не обладают раздражающим действием на кожу и слизистые. Ориентировочный безопасный уровень воздействия большинства полимерных СОРС в воздухе рабочей зоны, рассчитанный на основании методических указаний, утвержденных органами здравоохранения, составляет 10,3 мг/м³.

При работе с концентратом СОРС и его 5%-ной эмульсией применяют индивидуальные средства защиты согласно типовым отраслевым нормам, а именно: хлопчатобумажные костюмы, кожаные ботинки, комбинированные рукавицы, защитные очки с бесцветными стеклами. Перед началом работы и после перерывов руки смазывают силиконовым кремом или медицинским вазелином. Помещение, в котором работают с концентратом СОРС,

должно быть снабжено приточно-вытяжной вентиляцией.

Антикоррозионные свойства. Полимерсодержащие СОРС обладают хорошими антикоррозионными свойствами. Для СОРС наиболее приемлемой в технологическом отношении является ингибиторная защита. В качестве ингибиторов коррозии для полимерсодержащих СОРС были испытаны такие соединения, как фосфаты, нитриты, хроматы, бихроматы и добавки эмульсолов. Применение последних объяснялось тем, что водные полимерсодержащие композиции имеют в своем составе полимерные присадки ПАВ, стабилизирующие добавки и воду, и в них отсутствуют масляные добавки, выполняющие роль смазочного компонента.

В качестве масляных добавок, которые выполняли бы и роль ингибитора коррозии, были использованы промышленные эмульсии ЭТ-2, ЭГТ, ВНИИНП-117/Т и др. Минимальная концен-

8. Влияние концентрации в полимерсодержащей композиции (97% воды + 1% латекса ВПХ + 2% ПАВ) на коррозионную стойкость металлов (по ГОСТ 6243—75)

Ингибиторы коррозии	Концентрация, мас. доля, %				
	0,1	0,3	0,5	0,8	1,0
Na ₃ PO ₄	—	—	—	+	+
K ₂ CrO ₇	—	—	+	+	+
K ₂ CrO ₄	—	—	+	+	+
NaNO ₂	—	—	—	+	—
NaNO ₃	—	—	—	+	+

Примечания: 1. «+» — ингибиторы, прошедшие промышленные испытания; «—» — ингибиторы, не прошедшие промышленные испытания.

2. Наиболее эффективными ингибиторами коррозии для полимерных СОРС оказались хроматы и бихроматы. Однако бихромат калия и хромат, эффективно тормозя электрохимическую коррозию металлов, не менее действенно замедляют и процесс механотермической обработки, уменьшая эффективность полимерсодержащей СОРС до уровня промышленных эмульсий.

9. Влияние концентрации промышленных эмульсолов в полимерсодержащей СОТС на коррозионную стойкость металлов (по ГОСТ 6243—75)

Промышленные эмульсолы	Концентрация, мас. доля, %						
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
ЭТ-2	—	—	—	+	+	+	+
ЭГТ	—	—	—	—	+	+	+
ВНИИНП-117/Т	—	—	+	+	+	+	+

Примечание. «+» — эмульсолы, прошедшие промышленные испытания; «—» — эмульсолы, не прошедшие промышленные испытания.

трация ингибирующих присадок (фосфаты, нитриты, хроматы и бихроматы), обеспечивающая достаточно высокие защитные свойства полимерсодержащих композиций, составила 0,5% (табл. 8).

В случае использования промышленных эмульсолов как основы полимерсодержащих СОТС полную коррозионную защиту обеспечивала их концентрация, не превышающая 4% (табл. 9).

Биологическая стойкость полимерсодержащих СОТС. Промышленные эмульсии на основе эмульсолов ЭГТ, ЭТ-2, Э-2 (Б), которые широко используются в машиностроении, способны интенсивно биологически разлагаться под действием различных микроорганизмов. Так, только в течение одних суток эксплуатации эмульсии микроорганизмы способны «съесть» до 30% углеводородных ее компонентов. При этом наблюдаются расслаивание эмульсии, выделение большого количества свободных масел и резкое возрастание ее коррозионной агрессивности.

По данным института ботаники им. Н. Г. Холодного АН УССР, количество микрофлоры через 2—3 сут. эксплуатации может дости-

гать 5—180 млн. клеток микроорганизмов в 1 мл. Этого достаточно для того, чтобы СОТС стала коррозионно-агрессивной.

Образцы СОТС (эмульсия ЭТ-2 и СОТС серии МХО, а также составные компоненты полимерсодержащих СОТС) проверены в лабораторных условиях на грибоустойчивость. Результаты испытаний представлены в табл. 10 и 11.

По методу А определяли устойчивость СОТС к действию микроскопических грибов, а по методу Б — фунгицидные свойства СОТС.

Наиболее подвержен биологическому повреждению эмульсол ЭТ-2, который уже на пятые сутки подвергся воздействию грибных культур. Из полимерсодержащих составов наименее подвержена воздействию грибов СОТС МХО-64а. Из ее компонентов только индустриальное масло И-12А и ингибитор коррозии (триэтаноламин) негрибоустойчивы.

Данные о влиянии культур бактерий на эмульсол ЭТ-2 и полимерсодержащие СОТС серии МХО приведены в табл. 12. Полимерные составы СОТС обладают повышенной биологической устойчивостью к действию смешанной культуры бактерий.

10. Результаты испытаний на грибоустойчивость полимерсодержащих СОТС серии МХО и промышленного эмульсола ЭТ-2

СОТС	Метод А		Метод Б		Характеристика
	Время, сут	Оценка, баллы	Время, сут	Оценка, баллы	
Эмульсол ЭТ-2	2—5	5	2—3	5	Негрибоустойчив
МХО-60	20	2—3	20	5	
МХО-62	20	2—3	20	5	
МХО-64	25	2	25	2	
МХО-64а	25	1—2	25	1—2	

11. Результаты испытаний на грибоустойчивость компонентов СОТС МХО-64а

Компонент СОТС	Метод А		Метод Б		Характеристика
	Время, сут	Оценка, баллы	Время, сут	Оценка, баллы	
Масло индустриальное И-12А	10	3—4	10	5	Негрибоустойчив
Латекс поливинилхлорида	45	0	45	0	Грибоустойчив
Тристаноламин	10	2—3	10	5	Негрибоустойчив
Сульфонат натрия	45	0	45	0	Грибоустойчив
Синтамид-5	45	0	45	0	

12. Биологическая устойчивость СОТС к действию смешанной культуры бактерий

СОТС	Бактериальная нагрузка, млн клеток	Характеристика изменения субстрата, баллы	
		на 1-е сутки	на 4-е сутки
Эмульсол ЭТ-2	250	1	5
МХО-60		—	3
МХО-62		—	3
МХО-64		—	2
МХО-64а		—	2

Для повышения антимикробных свойств полимерсодержащих СОТС были применены препараты вазин и итол. Испытания этих препаратов подтвердили также целесообразность введения

в СОТС водорастворимых присадок корбоцида и вазина (0,15% по готовой эмульсии).

Влияние полимерсодержащих СОТС на сроки межоперационной консервации деталей. При обра-

13. Сроки межоперационной консервации деталей, обработанных с применением полимерсодержащих СОТС

СОТС	Время консервации, ч, до достижения 10%-ной площади коррозионного поражения образцов				
	Скорость резания, м/с				
	0,61	1,0	1,5	3,6	4,0
МХО-64а	24—30	80—90	240	240	230
5%-ная эмульсия ЭТ-2	2—3	9—10	16—18	18—20	18

ботке деталей с применением полимерных СОТС сроки их межоперационной консервации выше, чем при обработке деталей с использованием традиционных СОТС, что, вероятно, связано с повышением качества обрабатываемой поверхности, снижением уровня остаточных напряжений и др. (табл. 13).

Таким образом, при обработке резанием с применением полимерсодержащих СОТС МХО-64а формируются достаточно высокие антикоррозионные свойства поверхностей изделий из конструкционных сталей.

Сведения о разработанных полимерсодержащих СОТС, которые прошли широкую опытно-промышленную проверку и внедрены в производство, приведены ниже.

МХО-60 (Ту 38-201349—80)—СОТС, представляющее собой композицию из эмульсола (типа ЭТ, ЭГТ), латекса поливинилхлорида и аэросила (табл. 14). Применяется в виде 3—5%-ной водной эмульсии на всех операциях лезвийной обработки углеродистых, легированных, коррозионно-стойких и жаропрочных сталей. Завод-изготовитель—Львовский ОНМЗ.

При обработке углеродистых сталей на операциях точения, сверления, фрезерования применение полимерсодержащей СОТС МХО-60 обеспечивает повышение стойкости режущих инструментов в 1,5—2 раза и снижение шероховатости.

При обработке коррозионно-стойких и жаропрочных сталей применение СОТС МХО-60 обеспечивает повышение стойкости

14. Состав концентрата СОТС МХО-60

Компонент	Содержание, мас. доля, %	ТУ, ГОСТ
Латекс поливинилхлорида	39,8 ± 1,0	ТУ 6-01-12-171—82
Эмульсол ЭТ-2	60 ± 1,0	ТУ 38.101599—75
Аэросил марки А-175	0,2 ± 1,0	ГОСТ 14922—77*

15. Физико-химические показатели СОРС МХО-60

Показатель	Норма	ГОСТ на метод определения

Концентрат

Внешний вид	Пастообразная жидкость светло-коричневого цвета	6243—75
Запах	Специфический не раздражающий	Органолептический метод
Плотность при 20 С, г/см ³	0,90—1,05	3900—85
Содержание воды, мас. доля, %, не более	37	2477—65
Общее щелочное число, КОН/1 кг продукта, не более	12	11362—76
Стабильность при низких температурах	Выдерживает	6243—75
Содержание активного вещества, мас. доля, %, не менее	15	6370—83

5 %-ная эмульсия

Внешний вид	Эмульсия белого цвета	6243—75, п. 1
pH	8—10	6243—75, п. 4
Стабильность эмульсии в течение 3 ч	Выдерживает	6243—75, п. 3
Коррозионная агрессивность	Выдерживает	6243—75
Склонность к пенообразованию свежеприготовленного раствора, см ³ , не более	100	—
Стойкость пены свежеприготовленного раствора, см ³ , не более	40	—

16. Состав концентрата СОРС МХО-62

Компонент	Содержание, мас. доля, %	ТУ
Латекс поливинилхлорида	71,43	601-12-171—79
Триэтанолламин	9,14	6-09-2448—72
Уротропин	9,14	—
Нитрит натрия	4,57	—
Синтанол ДС-10	5,72	6-14-577—77

режущих инструментов в 2—3 раза и снижение шероховатости поверхности.

Основные физико-химические показатели СОРС МХО-60 представлены в табл. 15.

МХО-62—СОРС, представляющее собой композицию на водной основе, включающее латекс поливинилхлорида, триэтанолламин, уротропин, нитрит натрия и синтанол ДС-10 (табл. 16).

17. Физико-химические показатели СОРС МХО-62

Показатель	Норма	ГОСТ на метод определения

Концентрат

Внешний вид	Пастообразная жидкость молочно-белого цвета	6243—75
Запах	Специфический не раздражающий	Органолептический метод
Содержание воды, мас. доля, %, не более	45	2477—65

2 %-ная дисперсия

Внешний вид	Жидкость молочно-белого цвета	6243—75
Запах	Специфический не раздражающий	Органолептический метод
Стабильность при хранении	Стабильная	6243—75
Коррозионная агрессивность	Выдерживает	—
Плотность при 20 С, г/см ³	1,0—1,2	3900—85
Склонность к пенообразованию, см ³ , не более	1000	—
Стойкость пены, см ³ , не более	100	—
Поверхностное натяжение, Н/м, не более	35	Метод Робиндера
Содержание активного вещества, мас. доля, %, не менее	1,6	18992—80

МХО-62 применяется в виде 2%-ной водной дисперсии на операциях финиширования, алмазной и абразивной обработки металлов.

При алмазном хонинговании чугуна и твердых сплавов применение СОРС МХО-62 взамен керосиново-масляных смесей обеспечивает повышение производительности обработки в 2—3 раза, снижение шероховатости поверхности и повышение стойкости алмазного инструмента в 2—3 раза.

При шлифовании углеродистых и легированных сталей использование СОРС МХО-62 обеспечивает повышение производи-

сти обработки в 1,5—3 раза и снижение шероховатости поверхности.

Основные физико-химические показатели СОРС МХО-62 представлены в табл. 17.

МХО-64а (ТУ 38.8.016—81)—СОРС, представляющее собой композицию из минерального масла, латекса поливинилхлорида и ПАВ (табл. 18). Применяется в виде 3—5%-ной эмульсии на операциях лезвийной обработки углеродистых, легированных, жаропрочных сталей и титановых сплавов. Применение СОРС МХО-64а при резании жаропрочных сталей обеспечивает повыше-

18. Состав концентрата СОРС МХО-64а

Компонент	Содержание, мас. доля, %	ТУ, ГОСТ
Латекс поливинилхлорида	$50 \pm 1,0$	ТУ 601-12-171—82
Масло И-12А	$38 \pm 1,0$	ГОСТ 20799—75
Сульфонат натрия (синката 406)	$10 \pm 0,5$	Импортный
Синтамид-5	$2 \pm 0,2$	ТУ 602-640—80

ние стойкости режущего инструмента в 2—4 раза и снижение шероховатости поверхности. За-вод-изготовитель — Львовский ОНМЗ.

Основные физико-химические показатели СОРС МХО-64а представлены в табл. 19.

Использование СОРС МХО-60 и МХО-64а позволяет повысить

режимы резания в 1,2—1,5 раза по сравнению с обработкой в эмульсиях типа ЭТ, НГЛ, ЭГТ при сохранении постоянной стойкости режущего инструмента.

МХО-65 (ТУ 6-01-12-64—85) — концентрат водосмешиваемой СОЖ на полимерной основе, содержащей антикоррозионные и активирующие присадки

19. Физико-химические показатели СОРС МХО-64а

Показатель	Норма	ГОСТ на метод определения

Концентрат

Внешний вид	Пастообразная жидкость светло-коричневого цвета	6243—75, п. 1
Запах	Специфический не раздражающий	Органолептический метод
Плотность при 20 °С, г/см ³	0,95—1,1	3900—85, п. Б
Содержание воды, мас. доля, %, не более	32	2477—65
Общее щелочное число, мг КОН/1 кг продукта, не более	5	11362—76
Стабильность при низких температурах $[(-10 \pm 2) ^\circ\text{C}]$	Выдерживает	6243—75, п. 5

5 %-ная эмульсия

Внешний вид	Эмульсия от белого цвета до желтоватого	6243—75, п. 1
pH	6,5—8	6243—75, п. 4
Стабильность эмульсии в течение 3 ч	Выдерживает	6243—75, п. 3
Корродирующее действие	»	6243—75, п. 2

20. Физико-химические показатели СОТС МХО-65

Показатель	Норма
Внешний вид	Суспензия от белого до кремового цвета
Плотность при 20 °С, кг/м ³	1050—1250
Массовая доля сухих поливинилхлорида и эмульгаторов, %, не менее	36
Коррозионная агрессивность 4%-ной водной эмульсии	Выдерживает

(табл. 20). Завод-изготовитель — ПО «Хлорвинил» (г. Калуш).

Применяется в качестве смазочно-охлаждающей технологической среды для обработки резанием и шлифованием углеродистых и легированных конструкционных и жаропрочных сталей и сплавов. Предназначена для замены водных СОТС на основе товарных эмульсолов.

Увеличивает срок службы инструмента, позволяет повысить режимы обработки и чистоту обработанной поверхности, исключить прижоги при шлифовании. Применяется в виде 4%-ной водной эмульсии при температуре окружающей среды 5—30 °С. По-

дача СОТС в зону резания осуществляется поливом.

МХО-66 (ТУ 6-01-12-84—86) — концентрат водорастворимой СОЖ с полимерными присадками карбоксиметилцеллюлозы (табл. 21).

Применяется в качестве смазочно-охлаждающей технологической среды при обработке шлифованием и резанием труднообрабатываемых сталей и сплавов.

Увеличивает срок службы абразивного инструмента, позволяет повысить режимы и производительность шлифования, улучшить качество обработанной поверхности, обладает повышенными моющими свойствами.

21. Физико-химические показатели СОТС МХО-66

Показатель	Норма
Концентрат (в состоянии поставки)	
Внешний вид	Влажный порошок
Содержание воды, мас. доля, %, не более	5
Растворимость	Растворим в воде
1,2 %-ный водный раствор	
Коррозионная агрессивность pH	Выдерживает 8,5—10,0

22. Физико-химические показатели СОТС МХО-67

Показатель	Норма
Внешний вид	Эмульсия от белого до светло-коричневого цвета
Массовая доля сухого остатка, %, не менее	45
Коррозионная агрессивность pH	Выдерживает 7,2—10,0

Применяется в виде 1,2%-ного раствора при температуре окружающей среды 5—30 °С. Подача СОТС в зону обработки осуществляется поливом.

МХО-67 (ТУ 6-05-361-17—85). Концентрат водосмешиваемой СОЖ с полимерной присадкой полиэтиленового воска (табл. 22). Завод-изготовитель — Дрогобычский опытный завод.

Применяется в качестве смазочно-охлаждающей технологической

среды при обработке резанием углеродистых, конструкционных, коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов. Предназначена для замены водных СОТС на основе товарных эмульсолов.

Увеличивает срок службы инструмента, позволяет повысить режимы обработки и чистоту обработанной поверхности.

Применяется в виде 3%-ной водной эмульсии при температуре окружающей среды 5—30 °С. По-

23. Физико-химические показатели СОТС МХО-68

Показатель	Норма

Концентрат

Внешний вид	Суспензия от белого до кремового цвета
Запах	Специфический не раздражающий
Плотность при 20 °С, кг/м ³	950—1250
Содержание воды, мас. доля, %, не более	40
Стабильность концентрата при низких температурах (ГОСТ 6243—75)	Выдерживает —10 °С
Стабильность концентрата при хранении (ГОСТ 6243—75)	Выдерживает

4 %-ная водная эмульсия

Внешний вид	Эмульсия от белого до желтоватого цвета
Стабильность эмульсии в течение 3 ч	Выдерживает
pH	7,0—9,5
Коррозионная агрессивность	Выдерживает

24. Физико-химические показатели СОТС МХО-69

Показатель	Норма
Концентрат (в состоянии поставки)	
Внешний вид	Суспензия от белого до светло-коричневого цвета
Плотность при 20 °С, кг/м ³	920—1200
Содержания воды, мас. доля, %, не более	40,0
Общее щелочное число, мг КОН/кг продукта, не ниже	1,0
5 %-ная эмульсия	
Внешний вид	Эмульсия от белого до желтоватого цвета
Стабильность эмульсии в течение 3 ч	Выдерживает
Коррозионная агрессивность	»

дача СОТС в зону обработки осуществляется поливом.

МХО-68 (ТУ-6-01-12-85—86)—концентрат водосмешиваемой СОЖ на полимерной основе (ПВХ) с антикоррозионными присадками (табл. 23). Заводы-изготовители: ПО «Хлорвинил» (г. Калуш), Дрогобычский опытный завод.

Применяется в виде смазочно-охлаждающей технологической среды для обработки резанием труднообрабатываемых сталей и сплавов. Предназначена для замены водных СОТС на основе товарных эмульсолов. Увеличивает срок службы инструмента, позволяет повысить режимы и производительность обработки, чистоту обрабатываемой поверхности.

Применяется в виде 4%-ной водной эмульсии при температуре окружающей среды 5—30 °С. Подача СОТС в зону резания осуществляется поливом.

МХО-69—концентрат водосмешиваемой СОЖ с полимерной присадкой (ПВХ) (табл. 24).

Применяется в качестве смазочно-охлаждающей технологической среды при обработке труднообрабатываемых сталей. Предназначена для замены водных СОТС на основе товарных эмульсолов.

Повышает стойкость режущего инструмента и качество обработанной поверхности. Позволяет интенсифицировать режимы обработки. Применяется в виде 5%-ной водной эмульсии при температуре окружающей среды 5—30 °С. Подача СОТС в зону резания осуществляется поливом.

МХО-70—СОТС, представляющее собой композицию из минерального масла, поливинилхлорида и стабилизирующих добавок (табл. 25). Заводы-изготовители: ПО «Хлорвинил» (г. Калуш), Дрогобычский опытный завод.

Применяется при обработке резанием углеродистых, инструмен-

25. Химический состав СОРС МХО-70

Компонент	Содержание, мас. доля, %	ГОСТ, ТУ
Минеральное масло И-12А	93.9 ± 1.0	ГОСТ 20799—88
Поливинилхлорид эмульсионный	3.0 ± 1.0	ГОСТ 14039—78
Стеарат кальция	3.0 ± 1.0	ТУ 6-09-4104—75
Динитрилазобизомасляная кислота (ДАК)	0.1 ± 1.0	ТУ 6-09-3840—74

26. Физико-химические показатели СОРС МХО-70

Показатель	Норма	ГОСТ на метод определения
Внешний вид	Маслянистая жидкость коричневого цвета	6243—75*
Запах	Специфический не раздражающий	Органолептический метод
Вязкость кинематическая, мм ² /с, при 50 С	14—20	33—82
Температура вспышки**, С, не ниже	180	4333—87*
Коррозионная агрессивность	Выдерживает	6242—75*
Содержание воды, мас. доля, %, не более	Следы	2477—65*
Стабильность в течение 3 ч, см ³ , не более	5	—
Содержание активного вещества, мас. доля, %	3	6370—83*
Кислотное число, мг КОН/кг продукта, не более	6	6707—76

** Определяется в открытом тигле.

талых, легированных, коррозионно-стойких сталей взамен сульфокрезола, осернированного масла.

При обработке углеродистых, легированных и коррозионно-стойких сталей применение СОРС МХО-70 обеспечивает повышение стойкости режущего инструмента в 1,5—2 раза и снижение шероховатости поверхности.

Основные физико-химические показатели СОРС МХО-70 представлены в табл. 26.

СОРС на основе отходов полимеров

Преимуществом разработанных полимерсодержащих СОРС является возможность замены промышленных полимеров, входящих в их состав, отходами полимерной промышленности — полиэтилена, полипропилена, модифицированных лигносульфонатов, полиакрилонитрила. Это позволяет решить как проблему сырьевой

27. Физико-химические показатели СОТС на основе отходов полиэтилена

Показатель	Норма
Внешний вид	Эмульсия от белого до светло-коричневого цвета
Массовая доля сухого остатка, %, не менее	45
Коррозионная агрессивность pH	Выдерживает 7,2—10,0

28. Утилизация полимерсодержащих СОТС

Реагент	Состояние реагента	Количество реагента, необходимое для разделения эмульсии, г/л, для	
		МХО-60	МХО-62
Железоаммониевый	Сухой или в виде концентрированного раствора		0,4
Кволин	Сухой	20	0,2
K_2CO_3	»		0,2
CH_3OCONa	Сухой или в виде концентрированного водного раствора		2,0

базы, так и экологические вопросы утилизации отходов полимерной промышленности.

Физико-химические свойства СОТС на основе отходов полиэтилена приведены в табл. 27.

Утилизация СОТС

Для утилизации отработанная эмульсия поступает в сборник. При добавлении к СОТС любого из указанных выше реагентов (табл. 28), интенсивном перемешивании и отстаивании в течение 1 ч происходит разделение эмульсии на два слоя. Верхний (водный) слой сливается непосредственно в канализацию. Осадок сжигается или вывозится на свалку.

Для регенерации масляной СОТС МХО-70 отработанную СОТС собирают в отстойную емкость. Затем пропускают через фильтр. Сливают регенерированное масло в чистую емкость. Осадок сжигают.

4. СОТС В МИКРОКАПСУЛАХ

Капсулированные СОТС и предпосылки их использования. Обычно компоненты СОТС находятся в нем в растворенном или диспергированном состоянии. В последнее время появилась возможность введения их в капсулированном виде. Капсулированными СОТС называются составы, некоторые компоненты которых заключены

29. Размерные группы капсул

Группа	Размеры капсулы, мм	Способы капсулирования
Макрокапсулы	0,5—5,0	Различные методы механического формирования оболочки с одновременным или последующим заполнением ее веществом Пленкообразование на границе раздела фаз в свободно-дисперсной системе Синтез сферической молекулы макрополимера с включением внутрь ее низкомолекулярного вещества
Микрокапсулы	$1 \cdot 10^{-3}$ —1,0	
Нанокпсулы	$(50-200) \cdot 10^{-9}$	

в капсулы, т. е. в тонкую оболочку пленкообразующего материала. Содержание капсулируемого вещества в капсуле составляет обычно 70—85%, иногда—до 99% массы капсул. В качестве материала оболочки используют синтетические и природные поли-

меры, парафин или неорганические материалы. Принято подразделять эти частицы на макро-, микро- и нанокпсулы в зависимости от их размеров. Каждой из этих размерных групп капсул обычно характерен особый способ их получения (табл. 29).

Капсулирование веществ является сложным и дорогостоящим процессом, поэтому применение капсулированных СОТС должно быть оправдано с позиций экономики или экологии. Основные предпосылки применения капсул состоят в том, что оболочка защищает их содержимое от действия внешней среды, обеспечивает точную дозировку веществ, маскируя их запах, снижает летучесть, токсичность, пожароопасность и т. п. Вследствие этих свойств капсул введение присадок к СОТС в виде микрокапсул (МК) позволяет решить ряд проблем практического применения СОТС (рис. 1).

Таким образом, исходя из цели применения МК в составе СОТС, необходимо выбрать нужный размер капсул, материал и толщину их оболочки. Важным является анализ условий, обеспечивающих высвобождение содержимого капсул при эксплуатации СОТС.

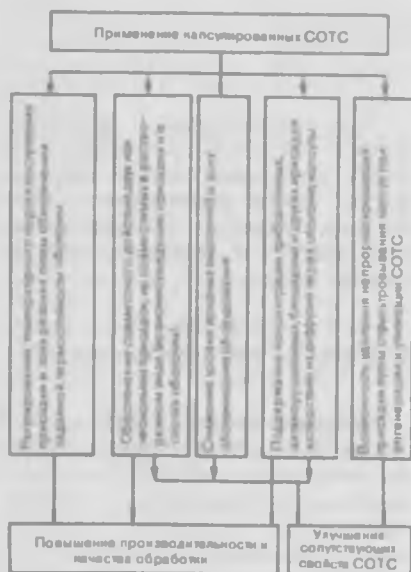


Рис. 1. Предпосылки использования капсулирования СОТС

Высвобождение содержимого капсул. Рассмотрим условия поступления в зону резания какой-либо из капсулированных присадок, например трибоактивной. Процесс высвобождения содержимого из МК может протекать по трем различным механизмам: механическое разрушение МК вследствие сдвливания оболочки; тепловое разрушение оболочки при контакте МК с нагретыми телами детали или инструмента и диффузия сквозь оболочку.

Эти три механизма взаимосвязаны и могут осуществляться одновременно. Схематично эта взаимосвязь показана на рис. 2. С увеличением температуры количество выделяющегося в единицу времени вещества сначала медленно увеличивается вследствие роста диффузии, а затем, по достижении критической температуры T_c , наступает резкое увеличение выхода содержимого капсул, что связано с термическим разрушением оболочки. Удобно рассмотреть перечисленные механизмы по отдельности.

Механическое разрушение МК проявляется как раздавливание их при сближении контактирующих поверхностей и определяется, главным образом, технологической схемой процесса резания. Если, например, при наружном точении вероятность такого разрушения капсул мала, то она значительно увеличивается при резьбонарезании, развертывании и особенно при абразивной обработке, при которой условия контактирования способствуют «зашемлению» МК между деталью и инструментом. В «жестких» схемах обработки все «зашемленные» МК будут разрушены. Если технологической схемой пре-

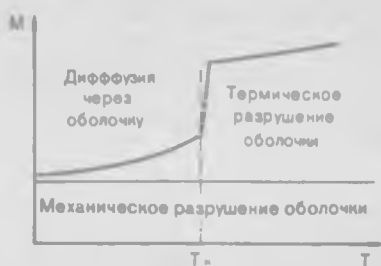


Рис. 2. Зависимость массы высвобождающейся из МК присадки M от температуры резания T :

T_c — критическая температура, вызывающая начало термического разрушения оболочки МК

дусмотрено использование нежесткого инструмента (например, лепестковое полирование), то условия высвобождения присадки будут определяться соотношением контактного давления и прочностью оболочки МК. Так, для МК с жидким содержимым процесс их механического разрушения описывается уравнением

$$g_1 = A(1 - e^{-\alpha p})(1 - e^{-\beta \tau}),$$

где g_1 — доля разрушенных микрокапсул; p — давление внешней нагрузки; τ — время нагружения; A , α , β — эмпирические коэффициенты. При этом $A \geq 1$ характеризует степень нагрузки на капсулы без разрушения.

Диффузия содержимого МК через толщу оболочки протекает уже при относительно низкой температуре, усиливаясь при ее повышении. Целесообразно использовать этот механизм для поддержания в составе СОЖ стабильных концентраций присадок вспомогательного назначения, например биоцидов. Кроме температуры на диффузионное выделение присадки влияют также свой-

ства оболочки — ее толщина и плотность.

Для количественной оценки диффузионного процесса можно рекомендовать зависимость

$$-\frac{dm}{dt} = K_1 \gamma (T - T_{xp}) m + m_0 K_2 e^{\frac{\Delta H}{RT}},$$

где m — исходная суммарная масса содержимого МК; m_0 — масса в момент времени t от начала процесса диффузионного высвобождения содержимого; γ — коэффициент объемного расширения за капсулированной жидкости; ΔH — энтальпия ее испарения; T_{xp} — температура хранения, при которой установилось равновесие с окружающей средой до начала нагрева; K_1 , K_2 — эмпирические коэффициенты.

Это уравнение, однако, не учитывает пористость оболочки МК. Чтобы учесть пористость, используют другую зависимость:

$$C = \frac{3Dm}{Vrd} C_\infty \delta + \frac{\epsilon}{h},$$

где C — текущая концентрация диффундирующего вещества; C_∞ — предельная концентрация; D — коэффициент диффузии; m — масса закапсулированного вещества; V — его объем; d — относительная плотность вещества; r — радиус микрокапсул; ϵ — коэффициент, учитывающий пористость и неровность оболочки; h — толщина стенок; δ — экспериментальный коэффициент, учитывающий скорость перемешивания; t — время.

Приведенные выше уравнения позволяют, исходя из параметров имеющихся микрокапсул и требуемой концентрации присадки в СОТС, определять необходи-

мую концентрацию микрокапсул в базовой жидкости.

Разрыв оболочки вследствие температурного воздействия может происходить в результате потери прочности оболочки при нагреве либо повышения внутреннего давления в МК. Обе эти причины могут действовать одновременно. Массовый температурный разрыв МК происходит при достижении некоторой критической температуры T_k (см. рис. 2). При дальнейшем подъеме температуры выход присадки достигает максимального значения, при котором все капсулы, попадающие в зону резания и контактирующие с нагретыми телами, разрушаются. Чтобы поддержать постоянным такой темп выделения присадки, необходимо периодически вводить в СОТС микрокапсулы.

5. МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ РАСПЛАВЫ

Расплавы легкоплавких металлов являются одними из наиболее эффективных технологических сред для обработки металлов резанием. Закономерности влияния жидкометаллических сред при металлообработке весьма широко изучены при сверлении. Расплавы оказывают многообразное влияние на показатели процесса сверления. Интенсивность воздействия среды существенно зависит от режимов обработки и химического состава технологической среды. Жидкометаллические среды уменьшают интенсивность изнашивания инструмента, при этом режущие свойства инструмента сохраняются и при его повышенном износе. Расплавы изменяют характер кривой зависимости стойкости инструмента от скорости резания: по мере увеличения ско-

рости резания стойкость инструмента в начале возрастает до некоторого максимального уровня, а затем резко падает, приближаясь к значениям, зафиксированным на воздухе (рис. 3). Это установлено при сверлении углеродистой стали 45 и хромоникелевого сплава ЖС6К [6]. Осевая сила и крутящий момент тоже уменьшаются по сравнению с такими же показателями при обработке на воздухе в широком диапазоне скоростей сверления. Уменьшение эффективности действия технологической среды с ростом скорости резания обусловлено затруднением попадания расплава в зону разрушения и достижением предела термостойкости инструментального материала.

Наибольшая степень влияния технологической среды проявляется при оптимальном выборе режимов обработки. При сверлении стали 45 сверлами из быстрорежущей стали Р6М5 таковыми являются скорость $0,17\text{--}0,34\text{ м/с}$ и подача $0,1\text{--}0,14\text{ мм/об}$. В этих условиях силовые параметры процесса резания снижаются в 2—3 раза, а стойкость возрастает до 10 раз.

Существенное влияние на процесс сверления оказывают химический состав жидкометаллической среды.

При обработке большого числа труднообрабатываемых материалов целесообразно использовать расплав эвтектики олово—цинк. Так, при сверлении коррозионно-стойкой стали 12Х18Н9Т расплав этой эвтектики в 2 раза эффективнее, чем обычно применяемая олеиновая кислота, при этом удельная работа резания уменьшается в 8 раз. Наиболее целесо-

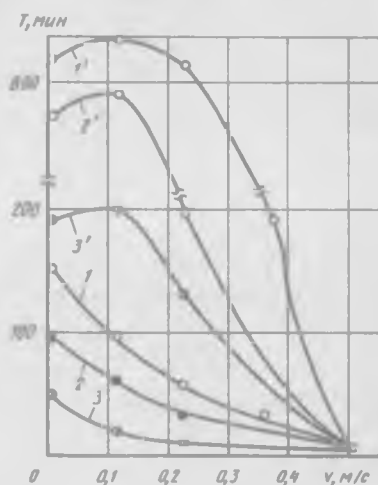


Рис. 3. Зависимость стойкости T сверл от скорости резания v для стали 45 в расплаве эвтектики олово—цинк (1', 2', 3') и на воздухе (1, 2, 3) при различных подачах $S_v, \text{мм/об}$: 1—0,1; 2—0,14; 3—0,2

образно использование жидкометаллических технологических сред при сверлении труднообрабатываемых материалов, таких, как высокоуглеродистая закаленная сталь У8, марганцовистая сталь Г13, быстрорежущая сталь Р9К5Ф, жаропрочные хромоникелевые сплавы ВЖЛ-14 и ЖС6К, титановые сплавы ВТ6, ВТ14 и ВТ20. Особенно сильно влияние этого расплава проявляется при сверлении в режиме постоянного осевого давления. При обработке сплава ЖС6К с постоянной осевой нагрузкой эвтектика олово—цинк обеспечивает по сравнению с водоземulsionной СОЖ более чем трехкратное снижение крутящего момента, двукратное повышение подачи и почти шестикратное снижение удельной работы резания. Уменьшение силовых

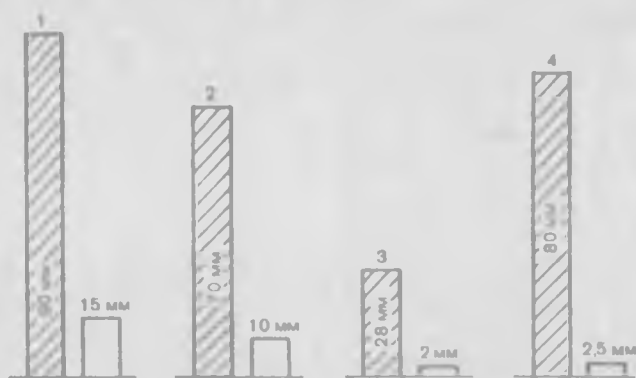


Рис. 4. Диаграмма стойкости твердосплавного режущего инструмента при сверлении различных материалов:

1—обрабатываемый материал сталь У8, сверло Ø6 мм; 2—обрабатываемый материал сталь Г13, сверло Ø4,2 мм; 3—обрабатываемый материал сплав ЖС6К, сверло Ø2,5 мм; 4—обрабатываемый материал сплав ЖС6К, сверло Ø6 мм; заштрихованный прямоугольник—в эвтектике олово—цинк, прямоугольник без штриховки—на воздухе

и энергетических параметров процесса сверления в металлическом расплаве приводит к резкому повышению стойкости сверл (рис. 4), а также позволяет проводить обработку при скоростях сверления, значительно больших (например, 0,14 м/с) обычно используемых для таких материалов (0,017—0,034 м/с).

Наряду с облегчением и ускорением процесса сверления поверхностно-активный металл, введенный в зону резания, изменяет характер образования стружки вследствие адсорбционного влияния на пластические свойства срезаемого слоя. При обработке с жидкометаллическими средами стружка резко измельчается и приобретает форму мелких иглолочек шириной около 0,1 мм, взвешенных в металлическом расплаве. С помощью жидкого кадмия удалось добиться охрупчивания и диспергирования стружки даже при резании таких вязких

материалов, как титан и его сплавы. Рекомендации по выбору расплавов металлов при сверлении приведены в табл. 30.

Если рекомендации по применению расплава для данного обрабатываемого материала отсутствуют, следует специальными опытами определить наиболее активную среду.

При обработке металлов резанием эффективность влияния среды определяется именно способностью вызывать значительное снижение прочности твердого тела в результате снижения поверхностной энергии на межфазной границе. Вместе с тем немаловажную роль при обработке резанием играют высокие охлаждающие и смазывающие свойства этих технологических сред.

При использовании жидкометаллических сред особые требования предъявляются к режущему инструменту, который не должен подвергаться охрупчивающему

30. Рекомендации по применению расплавов при сверлении

Обрабатываемый материал	Рекомендуемая жидкометаллическая среда, мас. доля, %	Температура расплава, °С
Малоуглеродистые стали	Висмут 55—65, кадмий 45—55	150
Высокоуглеродистые закаленные, сложендегированные, инструментальные стали и сплавы	Олово 85—95, цинк 15—5	200
Алюминий и сплавы на его основе	Сплав Вуда: висмут 50, олово 12,5, кадмий 12,5, свинец 25	80—100
Медь и сплавы на ее основе	Олово 57—67, свинец 43—33	190—200
Хромоникелевые жаропрочные сплавы	Олово 85—95, цинк 15—5	200
	Олово 100	240
Титан и сплавы на его основе	Кадмий 100	330
	Висмут 10—15, олово 10—15, цинк 0,1—10, кадмий — до 100	150

действию расплава. Поэтому при работе с жидкометаллическими средами нецелесообразно использовать напаянные сверла, поскольку расплав разрушает припой. Металлическое СОТС следует выбирать с таким расчетом, чтобы оно максимально снижало прочность материала в зоне резания, а режущий инструмент не испытывал заметного влияния среды.

Другое требование, предъявляемое к инструменту, обусловлено его геометрическими размерами. Поскольку образующаяся мелкодисперсная стружка забивает каналы спирального сверла, следует использовать перовые сверла. При сверлении труднообрабатываемого сплава ЖС6К рекомендуются твердосплавные перовые сверла с передним углом 5—18°, задним углом 15—18°, углом заборного конуса 118—120°. Кроме того, интенсивность действия расплава

в большой степени зависит от заточки инструмента. Наилучшие результаты получаются при работе острозаточенным инструментом. По мере затупления сверла, когда все большая энергия расходуется на пластическое деформирование в зоне резания, влияние активной среды снижается.

Поскольку изделия, обработанные в жидкометаллической технологической среде, в дальнейшем могут эксплуатироваться при повышенных температурах, важен вопрос о влиянии среды на качество поверхностного слоя и механические свойства полученных изделий. Сверление сталей 45, 12Х18Н9Т и жаропрочных сплавов в расплавах эвтектики олово—цинк приводит к уменьшению толщины наклепанного слоя, причем для сталей такое снижение двукратное. Микротвердость в поверхностном слое также снижается.

Обработка сверлением в жидкометаллической среде не оказывает существенного влияния на сопротивление усталости стали при испытаниях методом кругового изгиба; снижение сопротивления усталости не превышает 15%. Сверление с использованием расплава не приводит к изменению ударной вязкости образцов. Испытание на растяжение образцов из стали 12Х18Н10Т с просверленными в различных средах отверстиями показало, что прочность обработанных изделий не зависит от условий испытаний. Наличие в отверстии расплава не оказывает влияния на прочность образцов при растяжении.

Эффективность жидкометаллических СОТС высока и при других видах лезвийной обработки. При торцовом фрезеровании жаропрочных никелевых сплавов в присутствии расплавов металлов стойкость инструмента повышается в 6—10 раз в зависимости от марки материала, при фрезеровании вольфрамового сплава коэффициент повышения стойкости фрез из быстрорежущей стали Р6М5 достигает двукратного увеличения. Наибольшее воздействие жидкометаллических расплавов зафиксировано для тех материалов, при обработке которых износ инструмента обусловлен адгезионным схватыванием контактирующих поверхностей [15]. Наибольший эффект при фрезеровании во всех случаях получен при низких скоростях резания, с увеличением скорости влияние среды уменьшается. Это вызвано условиями проникновения расплава в зону контакта в зависимости от режимов обработки.

При обработке титанового сплава ВТ6 проходным резцом высокие

результаты получены при использовании в качестве СОТС расплавов кадмия и его легкоплавких сплавов, образующаяся при этом диспергированная стружка легко удаляется с обработанной поверхности.

Если при сверлении и фрезеровании достаточно просто осуществить контакт обрабатываемой детали с расплавом, что достигается путем закрепления детали в обогреваемой малогабаритной ванне, заполненной расплавом, то при токарной обработке можно использовать резец со съемной твердосплавной пластиной и с тонким каналом для подачи металлического расплава в зону резания. Державка резца нагревается электронагревателем до температуры, обеспечивающей плавление легкоплавкого металла или его эвтектики. Расплав подается в зону обработки через отверстие в державке под давлением сжатого воздуха.

Использование металлических расплавов в качестве технологических сред требует решения ряда инженерно-конструкторских задач, связанных с подогревом среды и обеспечением минимально необходимой подачи расплава в зону резания, что затрудняет применение металлических СОТС. В связи с этим перспективным направлением является переход от использования жидкометаллических сред к суспензиям порошков легкоплавких металлов. В качестве дисперсионной среды для приготовления суспензии металлических порошков могут служить масла (минеральные или растительные), промышленные масляные и водоземulsionные СОЖ. Для технологических сред суспензионного типа, как и для

жидкометаллических, характерна ярко выраженная зависимость эффективности их действия от выбора легкоплавкого металла или сплава и режимов обработки. При сверлении большого числа труднообрабатываемых материалов предпочтительно использовать порошок эвтектики олово—цинк [2, 3]. Так, при сверлении с постоянным осевым усилием хромоникелевой стали 18Х2Н4ВА (36—40 HRC_c) сверлами из быстрорежущей стали диаметром 8 мм применение 5%-ной суспензии порошка этой эвтектики в большей степени по сравнению с другими металлическими суспензиями обеспечило повышение скорости погружения сверла (табл. 31).

Наиболее ярко преимущество суспензионных СОТС проявляется при невысоких скоростях сверления. В случае обработки стали 18Х2Н4ВА в интервале скоростей 0,08—0,17 м/с стойкость инструмента из быстрорежущей стали в суспензии олово—цинк более чем в 3 раза превосходит его стойкость в эмульсионной технологической среде. Увеличение скорости резания снижает эффективность действия металлической суспензии.

Оптимальная концентрация металлического наполнителя, вводимого в технологическую среду, при которой обеспечивается высокая стойкость режущего инструмента при сверлении, 2—20% (мас. долей), причем наиболее предпочтительна 5%-ная концентрация. При других видах обработки, например при фрезеровании, количество порошка в смеси может быть повышено. Получение высоких показателей обработки обеспечивают порошки дисперсностью не более 120 мкм.

31. Зависимость скорости погружения сверла от технологической среды

Технологическая среда	Скорость погружения сверла $v \cdot 10^3$, м/с
Воздух	5,2
Суспензия олова	9,0
Суспензия кадмия	13,0
Суспензия эвтектики олово—цинк	17,0

Укрупнение частиц резко усиливает интенсивность изнашивания режущего инструмента.

Обработка в суспензионных СОТС имеет свои особенности. Интенсивность изнашивания и предельный износ инструмента при сверлении в металлической суспензии существенно меньше, чем при сверлении в расплавах. Картина изнашивания режущего инструмента при сверлении в суспензии и расплаве оказывается различной. Так, при сверлении закаленной стали 18Х2Н4ВА в суспензии порошка олово—цинк сверла из стали Р6М5 изнашиваются в основном по задней поверхности, причем у поперечной кромки износ меньше, чем у периферии. При сверлении в металлическом расплаве инструмент изнашивается по уголкам, образуемым режущими кромками и ленточками; помимо этого, в расплаве иногда изнашивается поперечная кромка сверла, а также выкрашивается режущая кромка, что приводит к ее скруглению.

Целесообразно использование металлических суспензий при фрезеровании [15]. При обработке высокопрочной стали 28Х3СНМФА (56 HRC_c) введение в состав масляной СОЖ МР-1

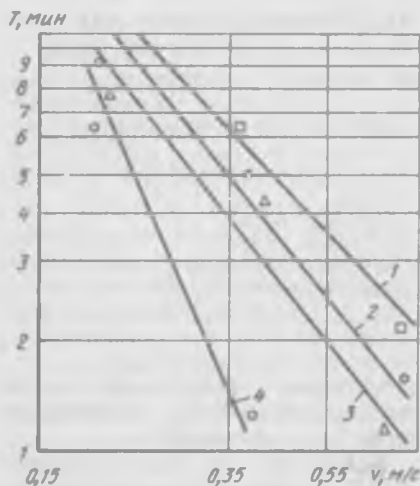


Рис. 5. Влияние технологических сред на стойкость фрез при обработке стали 28Х3СНМФА:

1—MP-1 с добавлением порошка олова; 2—MP-1; 3—атмосферный воздух; 4—5%-ная эмульсия СДМУ-2

порошка олова ПО-2 приводит к дополнительному существенно повышению стойкости инструмента (рис. 5). Эффективность СОЖ с добавками порошка олова в этом случае намного больше, чем СОЖ СДМУ-2 содержащей порошок дисульфида молибдена.

Использование в качестве технологической среды металлических суспензий особенно целесообразно при обработке высокопрочных сталей, где строгая регламентация тепловых условий процесса затрудняет применение жидкометаллических расплавов. Кроме того, расширяется номенклатура используемого инструмента, поскольку допускается контакт среды с паяным инструментом. Поэтому, хотя по сравнению с действием жидкометаллических расплавов суспензии менее эффек-

тивны, отсутствие нагрева изделий и ограничений по применяемому инструментальному материалу расширяет технологические возможности промышленного применения этого метода.

Особенно высокую эффективность жидкие поверхностно-активные металлы обнаруживают в процессах шлифования труднообрабатываемых материалов. Во многом это объясняется специфичностью шлифования: резанием на малую глубину, высокоинтенсивным напряженным состоянием, резко различной химической природой обрабатываемого материала и инструмента. При обработке твердого сплава алмазными кругами специально подобранные активные металлические расплавы вызывают значительное повышение производительности шлифования, а также снижение силы трения и мощности, расходуемой на диспергирование, по сравнению с аналогичными параметрами при шлифовании на воздухе и в воде. Облегчение шлифования твердого сплава сопровождается уменьшением дисперсности сошлифованных частиц и работы диспергирования, причем в случае применения наиболее сильнодействующих расплавов достигается более чем десятикратное уменьшение работы диспергирования.

Способность активных легкоплавких металлов существенно влиять на механические свойства твердых металлов и сплавов используется при создании нового высокопроизводительного инструмента. Активный по отношению к данному обрабатываемому материалу металл в виде тонкодисперсного порошка вводится в состав композиции, из которой изготавливают шлифовальный круг на

32. Характеристика процесса шлифования алмазными и эльборовыми кругами

Показатель	Круг	
	алмазный	эльборовый
Максимально допустимая подача, мм/дв. ход	0,02/0,10	0,01/0,03
Удельный расход алмаза или эльбора, мг/г	10,4/0,4 (подача 0,08 мм/дв. ход)	14,0/0,6 (подача 0,02 мм/дв. ход)
Число деталей, обработанных одним кругом	150—500/3250 (торцовых фрез)	1500/5000—6000 (метчиков)

Примечание. В числителе приведены данные для кругов без активного наполнителя в знаменателе—с активным наполнителем.

органической связке. Возникающие при шлифовании высокие локальные температуры вызывают плавление введенного металла-наполнителя и соответствующую активацию его действия. В результате в зоне шлифования постоянно присутствуют легкоподвижные атомы ПАВ—жидкого металла, вызывающего снижение прочности обрабатываемого материала и облегчающего шлифование.

В табл. 32 приведена характеристика алмазного шлифования твердого сплава алмазными кругами без активного наполнителя и с активным наполнителем, а также шлифования быстрорежущей стали эльборовыми кругами с наполнителем и без него.

Использование шлифовального инструмента с легкоплавкими наполнителями позволяет существенно увеличить максимально допустимую подачу при шлифовании и соответственно производительность обработки, а также значительно снизить удельный расход алмаза или эльбора. Хотя способ шлифования, при котором

активные вещества вводятся в зону шлифования менее продуктивен, чем шлифование непосредственно в среде расплава, однако он не требует существенного изменения технологии изготовления и применения кругов.

В полном соответствии с результатами, полученными при обработке резанием в расплавах металлов, при шлифовании кругами с активными наполнителями происходит измельчение сошлифованных частиц.

Резкое уменьшение прочности обрабатываемого материала в зоне действия активных веществ приводит к значительному снижению уровня остаточных внутренних напряжений и изменению их вида, а также к улучшению эксплуатационных характеристик изделия. Это особенно важно при шлифовании жаропрочных сплавов. Так, при плоском шлифовании сплава ЖС6К электрокорундовыми кругами на пульвербакелитовой связке 24А50 СТ1 6ПБ (ПП 250×20×32) в поверхностном слое на глубине до 80 мкм возникают растягивающие напря-

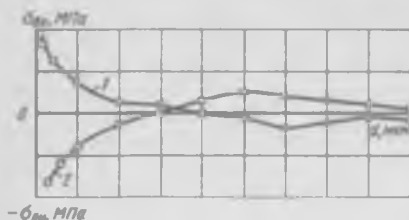


Рис. 6. Профили распределения остаточных напряжений в поверхностном слое сплава ЖС6К после плоского шлифования кругами 24A50 СТ1 6ПБ (режимы шлифования: $v_{ш} = 68$ м/с; $v_{дл} = 0,4$ м/с; $S_{ш} = 0,6 - 0,8$ мм/дв. ход, $t = 5$ мм): 1 — без наполнителя; 2 — с наполнителем

жения, а введение в состав связки олова совместно с другими добавками приводит к формированию сжимающих внутренних напряжений на глубине до 60 мкм (рис. 6). Одновременно происходит и улучшение прочностных характеристик обработанной детали. Это подтверждается данными (табл. 33), полученными при шлифовании сплава ХН77ТУР [14]. Для сопоставления приведены результаты, полученные при использовании в качестве наполнителя пирита.

Разупрочняющее действие остатков металла на прочностные свойства изделия не влияет, поскольку количество металла на

шлифованной поверхности весьма мало и практически целиком связывается в твердый раствор.

Отечественной промышленностью освоен выпуск шлифовальных кругов на органических связках, содержащих легкоплавкие наполнители. Рекомендации по выбору связки круга в зависимости от обрабатываемого материала приведены в табл. 34.

На ряде операций металлообработки, где применение традиционных СОЖ затруднено, недопустимо или не обеспечивает требуемого технологического эффекта и где нашли применение твердые смазочные композиции (см. п. 6 этой главы), порошки легкоплавких металлов используются в качестве компонентов указанных смазочных сред. Наибольший эффект от применения твердых смазок достигается при одновременном использовании в составе смазочной композиции порошка легкоплавкого металла и смазочного агента ламинарной структуры (например, дисульфида молибдена) [11].

Рекомендации по применению твердой смазки с легкоплавким наполнителем приведены в табл. 35.

Технологическая среда, содержащая порошок легкоплавкого

33. Результаты сравнительных испытаний усталостной прочности сплава ХН77ТУР

Характеристика круга и используемый наполнитель	R_{max} , МПа	R_{min} , МПа	f , Гц	Число циклов при R_{max}
24A50 СТ1 6ПБ без наполнителя	200	240	333	176 240
24A50 СТ1 6ПБ, пирит			331	176 970
24A50 СТ1 6ПБ, олово			335	284 910

Примечание. Режимы шлифования: $v_{ш} = 27$ м/с, $v_{дл} = 0,2$ м/с, $t = 1$ мм.

34. Выбор связки круга в зависимости от обрабатываемого материала

Связка круга	Наполнитель	Рекомендуемая область применения
B1-01 B1-02	Висмут Олово	Шлифование твердого сплава Шлифование твердого сплава совместно со сталью, шлифование керамики

металла, весьма эффективна как при абразивной, так и при лезвийной обработке, однако степень ее влияния зависит от большого числа факторов (вид операции, режимы резания, характеристика обрабатываемого материала и инструмента, периодичность нанесения смазки). Наибольший эффект достигается при резании труднообрабатываемых материалов. Так, например, при шлифовании резовых вставок из композита 01 [18] наилучший результат по-

лучается при использовании износостойких кругов с металлизированными алмазами зернитостью 125/100, при этом смазку достаточно наносить на алмазный круг после обработки партии из 224 заготовок. Высокая эффективность технологических сред, содержащих порошки легкоплавких металлов обусловлена не только их режущими, но и улучшенными смазочными и охлаждающими свойствами [17].

35. Рекомендации по применению твердой смазки, содержащей порошок легкоплавкого металла

Операция	Обрабатываемый материал	Технический эффект, полученный от применения твердой смазки
Шлифование алмазными кругами	Твердые сплавы группы ТК и ВК	Снижение расхода алмаза до 1,3 раз, уменьшение шероховатости обработанной поверхности и температуры обрабатываемого изделия
	Композит 01	Снижение расхода алмаза до 2 раз, снижение брака по сколам и трещинам, уменьшение шероховатости обработанной поверхности
Внутреннее шлифование абразивными кругами	Конструкционные закаленные стали типа У8 (56 HRC,)	Уменьшение количества правок инструмента, повышение производительности обработки, уменьшение температурных деформаций, возникающих в процессе шлифования
Нарезание резьбы метчиком Нарезание крупноразмерных резьб резцом	Титановый сплав ТК6 Конструкционные стали	Повышение стойкости метчиков в 1,5 раза Улучшение качества резьбы

6. ПАСТЫ, ПЛАСТИЧНЫЕ И ТВЕРДЫЕ СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Пасты представляют собой разновидность пластичных и твердых смазочных материалов. Как технологическое средство они получили наибольшее распространение на финишных операциях алмазно-абразивной обработки материалов — при полировании, доводке, притирке, заточке инструмента.

Пасты представляют собой композиции, состоящие из абразивных наполнителей и связующих (в случае жидких связующих — воды или масла — такое СОТС называется суспензией).

В качестве абразивных наполнителей используются мелкодисперсные порошки карбидов кремния и бора, окислов железа, хрома, алюминия, кремния, магния, титана, циркония, церия и тория, натуральных и синтетических алмазов, а также кубического нитрида бора, металлоподобных тугоплавких соединений (карбидов, боридов, нитридов, силицидов) и других сверхтвердых материалов [26].

В качестве связующих абразивных паст применяют органические и неорганические вещества. Известны многочисленные составы композиций паст, содержащих в различных сочетаниях олеиновую, стеариновую, пальметиновую кислоты, парафины, церезины, петролатумы, синтетические жирные кислоты, растительные и животные жиры, воски, керосин, бензин, минеральные масла, полигликоли, спирты, мыла, природные и синтетические полимеры, мел, тальк, канифоль, скипидар, глицерин, аэросилы,

асидолы, красители, ароматические добавки [5, 26].

Выбор концентрации в пасте абразивных порошков и их зернистости, а также состава связки определяется природой обрабатываемого материала, требуемой шероховатостью обработанной поверхности, особенностями технологического процесса обработки и конструкций применяемого оборудования (см. п. 6, 8 и 9 гл. VII и работы [1, 26]). Наиболее распространены на операциях доводки, притирки, полирования пасты ГОИ, алмазные пасты. Большинство их стандартизованы. Например, ГОСТ 25593—83*Е регламентирует алмазные пасты по зернистости и концентрации алмазного порошка, консистенции и смываемости паст.

Помимо паст общего назначения выпускается специализированная паста СЭЛ-1 (изготовитель — Бердянский ОНМЗ, см. прилож. 1), применяемая на операциях притирки шестерен. Она представляет собой пластичную технологическую смазку на основе минерального масла, загущенного литиевыми мылами синтетических жирных кислот, содержащую эмульгатор; используется в смеси с абразивным порошком. Характеристика смазки приведена в табл. 36.

Пластичные (консистентные) смазочные материалы — густые маэобразные продукты занимают по своим свойствам промежуточное место между твердыми смазками и маслами. Их основу составляют масла (минеральные, растительные или синтетические) и загустители (углеводородные, мыльные, неорганические, смешанные и другие). Кроме того,

36. Основные физико-химические показатели технологической смазки СЭЛ-1

Показатель	Метод определения*	Норма
Внешний вид	Визуально	Полужидкий продукт коричневого цвета
Вязкость смазки по Гарднеру, с: в состоянии поставки при 40 °С (с диском без отверстий)	П. 3.2 ТУ	10—20
то же, после прокачки в состоянии поставки при 5 °С (с диском с 51 отверстием)	П. 3.2 и 3.3 ТУ П. 3.2 ТУ	10—20 135—200
Выделение масла из смеси с абразивным порошком, см ³ , не более	П. 3.4 ТУ	4
То же, после прокачки, см ³ , не более	П. 3.3 и 3.4 ТУ	4
Эмульгируемость в воде при (50 ± 2) °С	П. 3.5 ТУ	Выдерживает

* Метод определения изложен в соответствующих разделах ТУ 38 УССР 201163-77.

в своем составе пластичные смазки содержат присадки, улучшающие эксплуатационные характеристики. Нередко в состав смазки вводят различные наполнители: графит, дисульфид молибдена, порошкообразные металлы или их окислы, слюду и др. [21].

Твердые смазочные материалы в зависимости от типа основы бывают разных видов:

неорганические со слоистой (ламельлярной) структурой: графит, бура, тальк, слюда, сульфиды, иодиды и селениды металлов, нитрид бора и др.;

органические: мыла, воски, твердые жиры;

мягкие металлы: индий, свинец, олово, медь, барий и др.*;

полимерные материалы: полиэтилен, полиамид, политетрафторэтилен и др.

Известны также другие виды твердых смазок (например, лед), а также их смеси.

При обработке металлов резанием пластичные и твердые смазочные материалы применяются при обработке лезвийным инструментом с низкими скоростями резания (протягивание, сверление, развертывание, резьбонарезание), ручной обработке, полировании, шлифовании и других процессах, при которых достаточно периодическое нанесение смазок и невозможно использовать жидкие СОТС. Твердые смазочные материалы применяются в виде паст, порошков, брикетов, карандашей и др.

Методы нанесения и использования пластичных и твердых смазок различны: погружение инструмента в смазочный материал, нанесение его кистью или лопаткой, натираем, галтовкой мелких заготовок, с помощью тубов, шприцев, роликов, контактирующих с шлифовальным кругом, использование пленочных твердых материалов, брикетов смазки, вставляемых в отверстие перед резьбонарезанием и т. д. Большое

* См. п. 5, гл. IV.

значение имеет экономичность, прочность и надежность нанесенного покрытия. С этой целью порошок твердой смазки, например дисульфида молибдена, нанесенного на развертку, уплотняют сжатием или ударом, а инструмент предварительно нагревают.

Возможно многослойное нанесение смазочных покрытий, например твердой смазки на предварительно фосфатированную поверхность резьбовых фасонных резцов [23]. Эффективный способ нанесения твердых смазок — распыление суспензии, содержащей твердый наполнитель, связку, летучий растворитель и отвердитель. После высушивания смеси на поверхности инструмента или заготовки образуется равномерное смазочное покрытие. Технология нанесения таких покрытий описана в [23].

Распространено использование пластичных и твердых смазок для пропитки (импрегнирования) абразивного инструмента. Импрегнаторы содержат пластичный или твердый смазочный материал, вещество-связку, растворитель и другие добавки. В качестве смазок используют неорганические вещества (расплавы серы, металлов, хлориды, сульфаты, фосфаты металлов, дисперсии графита, дисульфида молибдена), органические соединения (парафин, хлоропарафин, стеарин, стеараты металлов, активированные масла и др.) и их смеси. На некоторых шлифовальных операциях целесообразно комбинированное использование импрегнирования, пластичных или твердых и жидких СОТС, а также введение твердых материалов-наполнителей в жидкие СОТС (например,

серийный эмульсол СДМУ-2 содержит тонкодисперсный дисульфид молибдена). Существует опыт использования при шлифовании коррозионно-стойких сталей, титановых сплавов брусков замороженных водосмешиваемых СОТС, в том числе содержащих в качестве прослоек брикеты твердой или пластичной смазки [22].

В технологических процессах резания металлов в основном нашли применение: 1) индивидуальные твердые смазочные материалы и их смеси; 2) пластичные и твердые смазки общепромышленного применения; 3) специальные твердые и пластичные СОТС для металлообработки.

К первой группе относятся парафин, хозяйственное мыло, воск, твердый технический животный жир, применяемые, например, при сверлении мелких отверстий, а также многочисленные смеси (см. п. 6, 8 и 9 гл. VII и работы [23, 25, 26]), приготовляемые потребителем из двух-трех компонентов, например:

карандаши и брикеты для натирания лезвийного инструмента следующего состава, вес. ч. стеарин — 3, пчелиный воск — 1, порошок дисульфида молибдена — 0,5;

состав для смазывания эльборовых кругов при заточке инструментов из быстрорежущих сталей, мас. доля, %: стеарин — 65, нитрид бора — 35;

карандаш твердой смазки (КТС № 2) для смазывания сверл при сверлении мелких отверстий в коррозионно-стойких и высокопрочных сталях и сплавах, мас. доля, %: стеарин — 75—80, олеиновая кислота — 12—18, соляровое масло — остальное;

твердая смазка ДК-1 для сма-

звания абразивных и алмазных кругов при заточке и доводке режущего инструмента, мас. доля, %: воск—45—50, хлористый аммоний—55—60.

Ко второй группе относятся эксплуатационные пластичные и твердые смазки, применяемые в узлах трения машин и механизмов. Многие из них используются для технологических целей, при металлообработке, например [2, 7]:

ВНИИНП-118, МЭ-22—твердые смазочные карандаши и брикеты, содержащие дисульфид молибдена; смазочный слой наносится втиранием или с помощью контактно-фрикционных устройств на лезвийный или абразивный инструмент при обработке жаропрочных, инструментальных, тугоплавких сталей и сплавов, профильном и глубинном шлифовании:

Аэрол, Солидол С, ВНИИНП-225, ВНИИНП-232, ВНИИНП-279, Графитол, УССА, ЦИАТИМ-203 и другие—пластичные смазки, в том числе содержащие твердые наполнители: дисульфид молибдена и графит. Могут применяться при резьбо- и зубообработке, протягивании высоколегированных сталей, высокопрочных чугунов, труднообрабатываемых материалов.

Перечень некоторых паст, пластичных и твердых смазок этой группы приведен в табл. 37 [23], а описание—в работе [21]. Иногда, для технологического использования общепромышленных смазок их модифицируют добавлением различных присадок.

К третьей группе относятся специальные, как правило, многокомпонентные, технические пластичные и твердые смазки для ме-

37. Смазочные материалы, содержащие дисульфид молибдена

Смазка	Вид смазки	Рабочая температура, °С	Способ использования
ВНИИНП-232 ВНИИНП-225 ВНИИНП-210 ВНИИНП-214 ВНИИНП-242 ВНИИНП-220 ВНИИНП-257 ВНИИНП-270 ВНИИНП-226 ВНИИНП-262 ВНИИНП-209 ВНИИНП-213 ВНИИНП-230	Паста	—20 ÷ 120 —30 ÷ 350 —30 ÷ 400 —65 ÷ 200 —40 ÷ 110 —65 ÷ 150 —50 ÷ 150 —70 ÷ 50 —30 ÷ 100 —30 ÷ 70	Нанесение на обезжиренную поверхность инструмента
ВНИИНП-229 ВНИИНП-243 ВНИИНП-232 ВНИИНП-218 MoS ₂	Пластичная смазка	—60 ÷ 350 —60 ÷ 350 —60 ÷ 250 —60 ÷ 350	Распыление, окунание, полимеризация на подготовленной поверхности
	Твердое покрытие		
	Суспензия		
	Брикет, карандаш	До 400	Втирание
	Порошок	До 450	Галтовка

таллообработки, изготавливаемые специализированными предприятиями или разработчиками. Они эффективнее и стабильнее по качеству, чем смазки первой и второй групп. Группа специальных технологических смазок для резания металлов включает следующие основные марки.

Карбонал (ТУ 38 101729-85)—сплав натриевого мыла карбоновых кислот с рядом диспергирующих и поверхностно-активных веществ и твердых углеводородов—представляет собой полутвердый продукт коричневого цвета (табл. 38); применяется при сверлении, развертывании, резбонарезании алюминиевых сплавов,

латуни, бронзы, углеродистых сталей; эффективно заменяет пчелиный воск, техническое сало, хозяйственное мыло; наносится погружением инструмента в брикет со смазкой; изготовитель—ДОЗ НПО «МАСМА» (см. приложение 1).

Натронал-1М (ТУ 38 101728—84)—сплав минерального масла, загущенного натриевым мылом технического саломаса с добавкой отверждающих и эмульгирующих компонентов и твердых углеводородов (см. табл. 38); применяется для натирания абразивных лент и кругов, импрегнирования кругов при полировании, круглом, ленточном, профильном шлифова-

38. Основные физико-химические показатели технологических смазок Карбонал и Натронал-1М

Показатель	Метод определения*	Карбонал	Натронал-1М
Внешний вид	П. 5.2 ТУ	Однородная густая масса без комков от светло-коричневого до коричневого цвета	Однородная густая масса без комков от коричневого до темно-коричневого цвета
Температура каплепадения, °С, не менее	ГОСТ 6793—74	110	120
Содержание неомыляемых соединений, мас. доля, %	ГОСТ 5479—64 с дополнением по п. 5.3 ТУ	38—50	40—55
Коррозионное воздействие	ГОСТ 9.080—77 с дополнением по п. 5.4 ТУ	Выдерживает	
Глубина проникновения иглы (пенетрация) при 25 °С, мм·10 ⁻¹	ГОСТ 11501—78	28—50	—
Содержание воды	ГОСТ 1547—84, ГОСТ 2477—65	—	—
Зольность, %	П. 5.4 ТУ, ГОСТ 1461—59	—	1,5—3,0

* Дополнения к методам определения изложены в соответствующих разделах ТУ 38 101729—85 (для Карбонала) и ТУ 38 101728—84 (для Натронала-1М).

39. Основные физико-химические показатели технологической смазки КТИОЛ-76 РН

Показатель	Метод определения	Норма
Внешний вид	Органолептический	Жидко-мазеобразная масса от коричневого до черного цвета
Запах	То же	Специфический, исходного сырья
Плотность при 20 °С, кг/м ³	ГОСТ 3900—85	900
Вязкость кинематическая, мм ² /с, при 100 °С, не менее	ГОСТ 33—82	20
Температура вспышки в открытом тигле, °С, не ниже	ГОСТ 4333—87	180
Кислотное число, мг КОН/г, не более	ГОСТ 5476—80	120
Содержание влаги, %, не более	ГОСТ 11812—66	10
Коррозионное воздействие на металлы	ГОСТ 2917—76	Отсутствует
Растворимость в воде при 40—60 °С	ТУ 1018 УССР 11—86, п. 4.5	От водомасляной до метастабильной эмульсии

нии; изготовитель — ДОЗ НПО «МАСМА» (см. прилож. 1).

КТИОЛ-76 РН (ТУ 10 18 УССР 11—86) — смазка-жироаменитель жидкомазеобразной консистенции (табл. 39); применяется для смазывания инструмента при сверлении, резбонарезании сталей и сплавов, в том числе труднообрабатываемых; изготовитель — Славянский масложиркомбинат.

КТС-А (ТУ 23 02368—90), КТС-91 (ТУ 23 45342—86), КТС (ТУ 23 45333—83) — карандаши твердой смазки, состоящие из наполнителя и связки (стеариновой кислоты, препарата для фосфатирования «Мажеф», серы, диселенида молибдена и других добавок); применяются для смазывания абразивных кругов на керамической связке при «сухой» заточке и шлифовании режущего инструмента из быстрорежущих сталей, деталей из легированных сталей, цветных металлов и спла-

вов; разработчики и изготовители — ИПМ АН Украины (г. Киев) и НПО «Спецтехноснастка» (г. Одесса).

НМ-1, НМ-1Ж* — соответственно легкоплавкая и пастообразная композиции на сероканифолевой основе темно-коричневого цвета со слабым специфическим запахом и температурой размягчения 60—65 °С; применяются для смазывания инструмента при точении, растачивании, профильном шлифовании (НМ-1), нарезании и раскатывании резьбы, развертывании (НМ-1Ж), а также при сверлении и слесарной обработке металлов, в том числе коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов [16];

ТП-1* — пластичная технологическая смазка; применяется при

* Технологические смазки разработаны и производятся Украинским филиалом НИИ АТ (г. Киев).

сверлении, резьбонарезании, дорновании, протягивании сталей и сплавов; наносится на инструмент из металлических тубов;

ТТ* — карандаши твердой смазки; применяются для смазывания абразивных кругов на бакелитовой связке при шлифовании сталей и сплавов.

Твердые смазки (разработчик и изготовитель — НПО «ВНИИ-инструмент», г. Москва) — стержни на основе органических и неорганических компонентов и порошков легкоплавких металлов, применяются при сверлении, резьбонарезании, алмазном и абразивном шлифовании чугуна, углеродистых и коррозионно-стойких сталей, титановых сплавов, заточке инструмента из быстрорежущих сталей, твердых сплавов, синтетических сверхтвердых материалов [10].

МГ (разработчик и изготовитель — Ивановский госуниверситет) — пластичная синтетическая смазка на основе стеарокса, сульфированного касторового масла и наполнителей — мела и омедненного графита; применяется при сверлении, резьбонарезании, развертывании легированных, коррозионно-стойких сталей, труднообрабатываемых металлов и сплавов; наносится на инструмент кистью;

КСС (разработчик и изготовитель — ХНИИТМ, г. Харьков) — карандаш сухой смазки на основе органического связующего и антифрикционных присадок; применяется при сверлении, нарезании резьб, зенкеровании, развертывании, протягивании коррозионно-

стойких, жаропрочных сталей, титановых сплавов;

КСП (разработчик и изготовитель — ХНИИТМ, г. Харьков) — карандаш сухой смазки-подпитки; наносится на абразивный круг после его правки при шлифовании труднообрабатываемых сталей и сплавов и заточке инструмента из быстрорежущих сталей.

Известны также зарубежные твердые и пластичные технологические смазки, например: Эдивакс (фирмы «Эдисон Тул Ко», Англия) для нанесения на резцы, пилы, сверла; Флюид Стар Кат Компаунд АСТ (фирмы «Клюбер», ФРГ) для смазывания метчиков; F26 (фирмы «Фиат», Италия) для смазывания абразивных кругов и лент.

7. ГАЗООБРАЗНЫЕ СОТС

Газообразные СОТС применяются в тех случаях, когда по условиям технологического процесса не допускается применение жидких продуктов. Традиционным и наиболее распространенным СОТС является воздух, применяемый самостоятельно и в виде аэрозолей — дисперсий жидких СОТС, распыленных воздухом (см. п. 6 гл. IX и гл. X). Например, обдув зоны резания воздухом применяется при обработке гетинакса, поливинилхлорида и других пластмасс, чувствительных к нагреву, но не допускающих применение жидких СОТС. Эффективность металлообработки на воздухе (всухую) в целом не велика, хотя и повышается при применении увлажненного (до 15%) охлажденного ионизированного воздуха, при подаче его под давлением, а также при электро-

* Технологические смазки разработаны и производятся Украинским филиалом НИИ-АТ (г. Киев).

статическом охлаждении режущего инструмента.

Индивидуальные газы и их смеси, применяемые в качестве СОТС, бывают активными и инертными. Активные газы (кислород, водород, углекислый газ, сероводород, хлор и др.) реагируют с материалами заготовки и инструмента, образуют разделительные пленки или снижают поверхностную прочность обрабатываемого металла, тем самым способствуя уменьшению износа инструмента и шероховатости обработанной поверхности.

Кислород, особенно в атомарном или радикальном состоянии, образуя пленки окислов, предотвращает схватывание обрабатываемого металла и инструмента, снижает интенсивность его изнашивания. Кислород как сильный окислитель целесообразно использовать и в случае проявления «водородного» износа инструмента (его охрупчивания и разупрочнения) [2, 3, 5]. Практическая область применения кислорода — обдув зоны резания струей газа при точении и сверлении кислотостойких и жаропрочных сталей и сплавов, заточке инструментальных сталей и твердых сплавов [6].

Водород как сильный восстановитель целесообразно использовать при окислительном изнашивании режущего инструмента, например, из твердого сплава на основе карбида вольфрама при температуре резания выше 1000—1100 К [3]. Положительные результаты при использовании водорода в качестве СОТС получены при точении труднообрабатываемых высоколегированных сталей и сплавов резцами из твердого сплава ВК8 [2, 3].

Углекислый газ, обеспечивая доставку в зону обработки дополнительного кислорода, образует прочные окислительные пленки. Например, при точении Эльбор-Р высокопрочных закаленных сталей в среде углекислого газа и его смеси с воздухом (до 20% CO_2) образуются пленки окислов V_2O_5 ; при этом отмечены минимальные значения сил и температуры резания, износа инструмента и шероховатости обработанной поверхности [1].

По правилам техники безопасности применение таких активных газов, как хлор, хлористый водород, сероводород, озон, имеет ограниченный характер (например, при подготовке воды для СОТС, очистке сточных вод и др.). Тщательная вентиляция помещений необходима и при использовании углекислого газа, азота и других газов.

Инертные газы (аргон, гелий) применяются в качестве СОТС как защитные среды, предотвращающие контакт ювелирных обработанных поверхностей с активными газами. Так, при резании титановых сплавов на воздухе или с жидкими СОТС происходит наводороживание поверхности металла, формируются растягивающие остаточные напряжения; в результате уменьшается усталостная прочность деталей. Аналогичная обработка титановых заготовок в среде аргона приводит к появлению в поверхностном слое сжимающих остаточных напряжений, обуславливающих повышение усталостной прочности детали [2]. Если стойкость режущего инструмента обеспечивается в результате образования окисных или других защитных пленок, применение инертных газов, так

же как и вакуума, может вызвать повышенный износ инструмента [5]. Повышению стойкости режущего инструмента из керамики способствует применение защитной среды — азота.

Таким образом, выбор газов в качестве СОТС определяется конкретными условиями технологического процесса металлообработки и требованиями к обрабатываемой детали.

В зону резания газы подаются обдувом под давлением или в сжиженном виде. В последнем случае при их испарении достигается интенсивное охлаждение зоны обработки. Глубокое охлаждение металлов (например, жидким азотом) эффективно при обработке высоковязких металлов и сплавов, так как переводит их в хрупкое состояние и позволяет интенсифицировать процесс резания вследствие уменьшения работы пластической деформации (конструкции устройств для подачи сжиженных и газообразных углекислого газа и азота приведены в [6]). Возможны также предварительное электролитическое наводороживание обрабатываемой заготовки, обеспечивающее разупрочнение ее поверхностного слоя и облегчение процесса резания [2], насыщение газами (барботажа) жидких СОТС и некоторые другие способы доставки газов в зону резания. Для генерации и подачи в зону обработки кислорода или водорода можно использовать установку с малогабаритным электролизером [4]. При использовании газов в качестве носителей СОТС кроме метода распыления жидкостей воздухом можно использовать фреоновые аэрозольные средства, например баллоны «Аэрографит».

Список литературы

1. Абразивная и алмазная обработка материалов: Справочник / Под ред. А. Н. Резникова. М.: Машиностроение, 1977. 391.

2. Андреева И. А., Брюханова Л. С., Мирошниченко В. М. и др. Применение металлических суспензий в процессах резания твердых тел // Физико-химическая механика материалов. 1979. № 5. С. 48—52.

3. Андреева И. А., Брюханова Л. С., Мирошниченко В. М., Шукин Е. Д. Физико-химические особенности влияния металлических суспензий на процесс резания твердых тел // Физико-химическая механика материалов. 1980. № 3. С. 64—67.

4. Афанасьев А. Г. Химия за рубежом. (Применение микрокапсул: Обзор с примерами). М.: Знание. 1985. 64 с.

5. Бердичевский Е. Г. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки материалов: Справочник. М.: Машиностроение. 1984. 224 с.

6. Брюханова Л. С., Мирошниченко В. М., Полукарова З. М., Шукин Е. Д. Изучение оптимальных условий применения металлических расплавов при обработке твердых тел резанием // Физико-химическая механика материалов. 1975. № 4. С. 49—53; 1978. № 6. С. 14—18.

7. Девочкин А. А., Латышев В. Н., Голицевский В. А., Железов К. Н. Особенности смазочного действия микрокапсулированных присадок к СОТС // Теоретические и практические аспекты теории контактных взаимодействий при резании металлов. Чебоксары: Изд-во Чув. ГУ, 1988. С. 25—30.

8. Дубровский Ю. С., Малиновский Г. Т., Квятковская Т. А. Масляные смазочно-охлаждающие жидкости для обработки металлов резанием. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1988. 35 с.

9. Каталог взаимозаменяемости смазочно-охлаждающих жидкостей, производимых в странах — членах СЭВ, для обработки металлов резанием // Ю. С. Дубровский, А. К. Караулов, В. И. Костюк и др. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1991. 56 с.

10. Лобанцова В. С. Совершенствование обработки резанием за счет применения новых СОЖ и твердых смазок // Новые методы обработки резанием конструкционных материалов и эксплуатации режущих инструментов // Материалы семинаров М.: МДЭНТП, 1988. С. 104—109.

11. Лобанцова В. С., Рутман П. А., Парсегов С. В., Панайотти В. А. Смазка для абразивной обработки материалов: А. с. 1188198 СССР, МКИ С 10 М 141/02.

12. Малиновский Г. Т. Масляные смазочно-охлаждающие жидкости для обработки металлов резанием. М.: Химия, 1988. 192 с.

13. Маскаев А. К., Лебедев Е. В., Дубровский Ю. С. Базовый ассортимент смазочно-охлаждающих технологических сред для обработки материалов резанием. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1986. 51 с.

14. Перцов Н. В., Яковлев В. М., Лобанов А. В. Повышение эффективности шлифования за счет применения абразивного инструмента с активным наполнителем // Обзорная информация ВНИИТЭМР. Технология, оборудование, организация и экономика машиностроительного производства. Сер. 6. Прогрессивные технологические процессы в машиностроении. Вып. 3. М., 1987. 36 с.

15. Подураев В. И., Суворов А. А., Подзикова Т. В. Повышение производительности механической обработки рациональным применением технологических сред // Вестник машиностроения 1986. № 9. С. 39—43.

16. Применение СОТС при нарезании резьбы и сверлении труднообрабатываемых материалов / Б. В. Лупкин. В. Л. Лецинский, Т. П. Скок // Машиностроитель. 1989. № 7. С. 21—22.

17. Рутман П. А., Лобанцова В. С. Использование твердых смазок с легкоплавкими металлическими наполнителями при обработке заготовок резанием // Смазочно-охлаждающие технологические средства в процессах абразивной обработки. Ульяновск: УлПИ, 1988. С. 112—117.

18. Рутман П. А., Парсегов С. В., Лобанцова В. С. Исследование влияния СОЖ и ТС на эффективность шлифования резцов, оснащенных эльбором-Р. // Станки и инструмент. 1982. № 11. С. 24—26.

19. Солодовник В. Д. Микрокапсулирование. М.: Химия, 1980. 216 с.

20. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: Справочник / Под общей ред. С. Г. Энтелеса, Э. М. Берлинера. М.: Машиностроение, 1986. 352 с.

21. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: Справ. изд. / Под ред. В. М. Школьников. М.: Химия, 1989. 432 с.

22. Худобин Л. В., Белов М. А. Шлифование заготовок из коррозионно-стойких сталей с применением СОЖ. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1989. 148 с.

23. Худобин Л. В., Бердичевский Е. Г. Техника применения смазочно-охлаждающих средств в металлообработке: Справочное пособие. М.: Машиностроение, 1977. 189 с.

24. Чередищченко Г. И., Фройштегер Г. Б., Ступак П. М. Физико-химические и теплофизические свойства смазочных материалов. Л.: Химия, 1986. 224 с.

25. Якимов А. В., Винникова В. И., Надичин В. Б. Влияние твердых смазок на стойкость сверл малых диаметров // Передовой опыт алмазно-абразивной обработки прецизионных деталей машин. М.: НТЦ «Информтехника», 1990. С. 146—148.

26. Яшерлицы П. И., Зайцев А. Г., Барбатько А. И. Тонкие доводочные процессы обработки деталей машин и приборов. Минск: Наука и техника, 1976. 328 с.

Дополнительная литература к и. 8

1. Влияние газовой среды на износ резцов из Эльбора-Р. В. Н. Подураев, В. А. Юматов, А. К. Караулов, Д. Д. Жбанов // Вестник машиностроения. 1979. № 8. С. 47—49

2. Сальман В. Р., Дубровский Ю. С. Эффект водородного износа и его учет при разработке и применении смазочно-охлаждающих технологических сред. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1989. 46 с.

3. Стапчук Э. А., Шумилов А. П. Интенсификация механической обработки при подаче водорода в зону

резания // Долговечность трущихся деталей машин. М.: Машиностроение, 1986. Вып. 1. С. 153—159

4. Стапчук Э. А., Шумилов А. П. Способ повышения стойкости режущего инструмента: А. с. 889365 СССР, М. Кл. 4 В 23Р1/04 // Открытия, изобретения. 1981. № 46. С. 91.

5. Технологические свойства новых СОЖ для обработки резанием / Под ред. М. И. Клушина. М.: Машиностроение, 1979. 192 с.

6. Худобин Л. В., Бердичевский Е. Г. Техника применения смазочно-охлаждающих средств в металлообработке: Справочное пособие. М.: Машиностроение, 1977. 189 с.

Глава V. СОТС ДЛЯ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ВЫБОРА СОТС

Основы выбора (назначение) СОТС должны базироваться на том, что, во-первых, формулируются цели, которые необходимо достичь в результате применения СОТС (задачи, которые предполагается решить путем применения СОТС), во-вторых, учитываются условия выполнения операций обработки резанием, создающие предпосылки для реализации физико-химических и функциональных свойств СОТС, и, в-третьих, основные закономерности, обеспечивающие достижение основных параметров функционирования системы резания (износ и стойкость инструментов, шероховатость обработанных поверхностей и т. д.).

Основные цели применения СОТС следующие.

1. Повышение технологических показателей выполнения операций обработки резанием путем:

снижения шероховатости обработанной поверхности вследствие устранения или уменьшения процессов фрикционного переноса, в том числе и наростообразования; удаления из зоны резания абразивных частиц (карбидных зе-

рен, частиц нароста и др.); облегчения размещения стружки в канавках многозубых инструментов и ее удаления оттуда; смазывания в зонах вторичного контакта стружки с инструментом при сверлении спиральными сверлами и других операциях; смазывания калибрующих ленточек и т. д.;

уменьшения глубины и интенсивности наклепа обработанной поверхности и абсолютного значения внутренних напряжений, а также изменения их знака;

повышения точности обработки в результате уменьшения деформации заготовки и инструмента под действием механических нагрузок и снижения температуры стружки, заготовки, инструмента и, как следствие, их температурных деформаций, а также интенсивности размерного изнашивания инструмента.

2. Повышение экономических показателей выполнения операций обработки резанием путем:

увеличения стойкости инструмента и сокращения его расхода вследствие уменьшения интенсивности изнашивания, коэффициента вариации стойкости (уменьшения разброса ее значений), выкрашивания и поломок инструмента, устранения канавочного (краевого) изнашивания;

повышения производительности труда на операции в результате увеличения предельно допустимой подачи и скорости резания.

3. Улучшение условий труда путем:

- уменьшения содержания металлической пыли в атмосфере цеха при обработке деталей из серого чугуна и других материалов;

- понижения температуры обрабатываемой заготовки, снимаемой со станка оператором;

- улучшения стружкозавивания и стружкоотвода.

4. Обеспечение малолюдной и безлюдной технологии обработки резанием путем:

- формирования разделенной на части и удобной для автоматизированного отвода из зоны обработки стружки;

- отвода стружки из зоны обработки и очистки базовых поверхностей технологической оснастки.

При применении СОТС должна обеспечиваться защита заготовки от коррозии в период обработки и в межоперационный период.

Технические требования к выполняемой операции обработки резанием, свойства обрабатываемого и инструментального материалов, специфика процессов резания и изнашивания на той или иной операции, особенности конструкции режущих инструментов и уровень режима резания (требуемая производительность) в значительной мере предопределяют выбор СОТС для каждой операции. В связи с бесконечно большим разнообразием технологической обстановки при выполнении операций резания и с недостаточностью разработки теоретических основ применения СОТС, а также с тем обстоятельством, что раз-

работка и совершенствование СОТС в большой мере связаны с сырьем, интересами разработчиков, необходимостью учета многочисленных сопутствующих применению СОТС эффектов, вопросы выбора СОТС в основном базируются на опыте их применения и правильность выбора проверяется при испытаниях их в конкретных условиях.

Необходимые технико-экономические показатели СОТС проявляются в результате реализации их функциональных свойств (действий), прежде всего смазывающих, охлаждающих и моющих.

Реализация смазывающих свойств СОТС при резании металлов в диапазоне практически применяемых режимов резания происходит в условиях, когда на значительной части контактных поверхностей происходят процессы схватывания [9, 10]. Относительное перемещение контактных поверхностей при схватывании вызывает обширную пластическую деформацию менее прочного из контактирующих тел. В процессах трения деталей машин схватывание приводит к отказу в результате поломки.

При резании металлов в связи с наличием свободной поверхности (наружная сторона стружки) происходит лишь приспособляемость очага деформации к новым условиям взаимодействия. Приспособляемость завершается образованием квазистабильных поверхностей раздела *ABCD* (рис. 1), формирующихся вследствие разрыва когезионных связей в обрабатываемом материале, которые частично или полностью заменяют переднюю и задние поверхности инструмента, и переходной зоны 2 с особым напря-

женно-деформированным и кинематическим состоянием и близкой к нулю относительной скоростью на поверхностях инструмента. Длина границ раздела $ABCD$ переходной зоны вдоль передней и задней поверхностей зависит от многих факторов, например свойств обрабатываемого металла и СОТС, геометрии передней и задних поверхностей режущих инструментов и скорости резания и др. Это явление при резании реализуется практически всегда. При наличии условий, способствующих упрочнению обрабатываемого металла, переходные зоны развиваются до нароста.

Применение СОТС сопровождается полным или частичным вытеснением атмосферного воздуха из зоны резания и нестабильным участием его в контактных взаимодействиях. В связи с этим оценке воздействия СОТС на функционирование системы резания должны предшествовать достаточно полное раскрытие и понимание действия атмосферного воздуха. Единственная возможность оценки роли воздуха—это проведение испытаний в вакуумной камере с изменением давления от атмосферного до $1-0,1$ мПа. При этом реализуется предельное состояние трущихся пар по действию внешней среды, т. е. исключение из участия в процессе резания активных составляющих парогазовой среды. Камера является идеальным инструментом для удовлетворения предельной чистоты и контролируемости условий среды.

Результаты исследований свойств собственно воздуха и его влияния на действие СОТС подробно освещены в работе [10]. Отметим наиболее важные след-

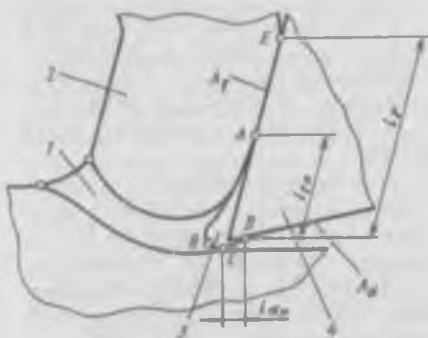


Рис. 1. Схема процесса резания: 1 — очаг деформации срезаемого слоя; 2 — стружка; 3 — переходная зона; 4 — резец; A_p — передняя поверхность; A_z — задняя поверхность; l_p , l_z и l_c — соответственно длина контакта с передней поверхностью и протяженность переходной зоны вдоль передней и задней поверхностей

ствия. Во-первых, резкий переход к вакуумным условиям характеризуется некоторым критическим давлением. При давлении меньшем критического имеет место взаимодействие ювенильных металлических поверхностей, что характеризуется уменьшением нагрузок, необходимых для схватывания металлов, а также значительным увеличением пластичности и прочности адгезионных соединений. Вследствие развития интенсивных процессов фрикционного переноса и образования развитых переходных зон на фрикционных контактах (застойных зон, зон прилипания, третьего тела в виде нароста и т. д.) относительное перемещение осуществляется в результате разрыва когезионных связей в обрабатываемом материале (как энергетически более выгодное) с образованием новых поверхностей раздела, подменяющих переднюю и задние поверхности.

В этом проявляются автономные, т. е. не зависящие от внешней среды, механизмы взаимодействия обрабатываемого и инструментального материалов. Во-вторых, для вывода системы резания из автономного режима при скоростях резания близких к нулю оказывается достаточным очень малое количество кислорода (на уровне разрежения 10—100 Па, т. е. примерно в 1000 раз меньше, чем имеется в атмосфере). В-третьих, скорость резания оказывает сложное влияние на трение, изнашивание и действие воздуха, выражающееся в существенном изменении условий реализации свойств среды при обработке резанием и приводящее к законо-

мерным одно- и многоэкстремальным зависимостям стойкости, интенсивности изнашивания режущих инструментов и шероховатости обработанных поверхностей от скорости резания. Более того, при увеличении скорости при резании на воздухе также создаются условия, которые постепенно переводят систему резания в автономный режим взаимодействия на большей части контактных поверхностей. И наконец, базовые масла типа И-12А, видимо, лишь ограничивают доступ кислорода воздуха к контактным поверхностям при резании, сами по себе не оказывая сколько-нибудь заметного влияния на трение и изнашивание.

Применение СОТС всегда способствуют уменьшению схватывания (адгезионного взаимодействия) и уменьшению пластичности обрабатываемого металла (уменьшению предельной деформации) как в очаге деформации 1 (см. рис. 1), так и в окрестностях поверхностей раздела $ABCD$ переходной зоны, а также локализации переходной зоны к окрестностям режущей кромки. Однако достичь при применении СОТС полного перевода трения в режим граничной смазки (на почти всей площади контактных поверхностей) можно лишь при очень низких скоростях резания (менее 0,1 м/мин), не используемых в практике обработки резанием. В реальных случаях обработки резанием этому препятствует мощный противоположно действующий фактор — скорость резания. Эти процессы очень ярко отражаются в формировании шероховатости обработанных поверхностей и изнашивании режущих инструментов. На рис. 2 при-

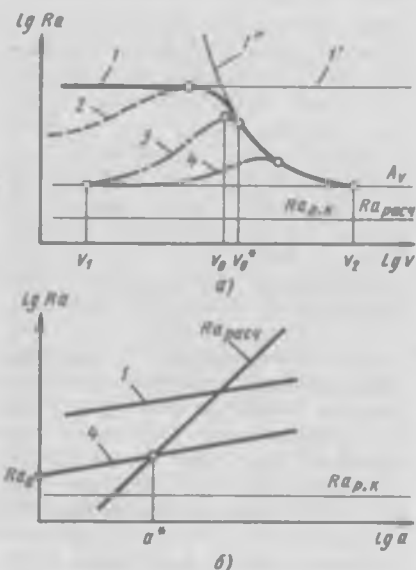


Рис. 2. Зависимость шероховатости от скорости резания (а), толщины среза (б) в СОТС: 1—4 — внешние среды по возрастающей эффективности; a^* — предельная толщина среза

ведена схема изменения шероховатости в зависимости от скорости резания и толщины среза в широком интервале изменения свойств СОТС от вакуума с разрежением 1—0,1 мПа до сильно действующих воды и четыреххлористого углерода с предельной интенсификацией динамики взаимодействия.

Зависимость шероховатости для вакуума $Ra_{\text{в}}$ (кривая 1) получается как бы состоящей из двух частей: $Ra = \text{const}(I')$ и экспоненциальной (I''), стремящейся к асимптоте A_p . Причем численное значение A_p значительно превышает значение шероховатости режущей кромки $Ra_{p, \text{к}}$ при свободном резании и расчетный уровень шероховатости, определяемой кинематикой и геометрией в плане режущих кромок, при несвободном резании. Применение СОТС в зоне малых скоростей уменьшает $Ra_{\text{в}}$ до уровня A_p . При увеличении скорости с определенной скорости v_1 Ra увеличивается, достигает экстремума при v_0 и далее изменение шероховатости происходит в соответствии с правой ветвью зависимости для $Ra_{\text{в}}$ (после v_0^*). Начиная со скорости v_0^* процессы формирования шероховатости обработанных поверхностей не реагируют на изменение внешней среды. Процесс резания с этого момента осуществляется как бы без участия СОТС, т. е. в автономном режиме. Возможности СОТС определяются уровнем скоростей v_1 и v_0 (v_0^*), величиной шероховатости Ra_{max} при скорости v_0 . Причем уровень асимптоты A_p является константой, практически не зависящей от скорости резания, обрабатываемого и инструментального материалов и т. д. С увеличением толщины

среза A_p очень слабо растет (см. рис. 2, б).

Фактические данные, подтверждающие эти закономерности, приведены на рис. 3—6 и в табл. 1—3. Параметры A_p и Ra_{max} отражают опосредственно размеры переходной зоны $ABCD$: A_p — в условиях, соответствующих отсутствию упрочнения обрабатываемого материала до v_1 в результате ограничения СОТС деформационных процессов (накопления деформации) и после v_2 вследствие интенсивных процессов разупрочнения, связанных с ростом температуры; Ra_{max} — в условиях возможности полного завершения процессов накопления деформации. Через деформационное упрочнение происходят дальнейший рост переходной зоны и расширение квазистабильной поверхности раздела до ярко выраженного нароста. Нарост является одной из форм существования вторичной переходной зоны, когда превалирующим становятся процессы деформационного упрочнения. В этих условиях изменяется кинематическое состояние переходной зоны (скорости внутри зоны стремятся к нулю) с тенденцией расширения поверхности раздела $ABCD$ (см. рис. 1).

Экспериментальное исследование кинетики формирования переходных зон показало три стадии их развития, которые отражаются на процессах стружко- и формообразования. При резании инструментом с укороченной передней поверхностью момент врезания характеризуется пластическим течением во всем объеме материала, прилегающего к фаске. Это приводит к локализации пластического течения и выделению перед фаской слабдеформированной

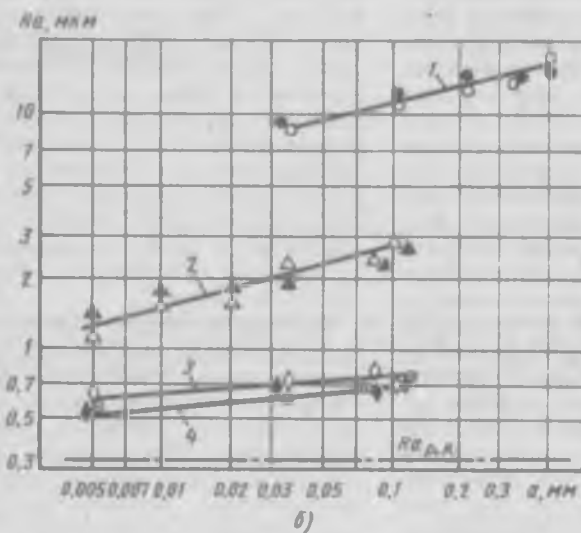
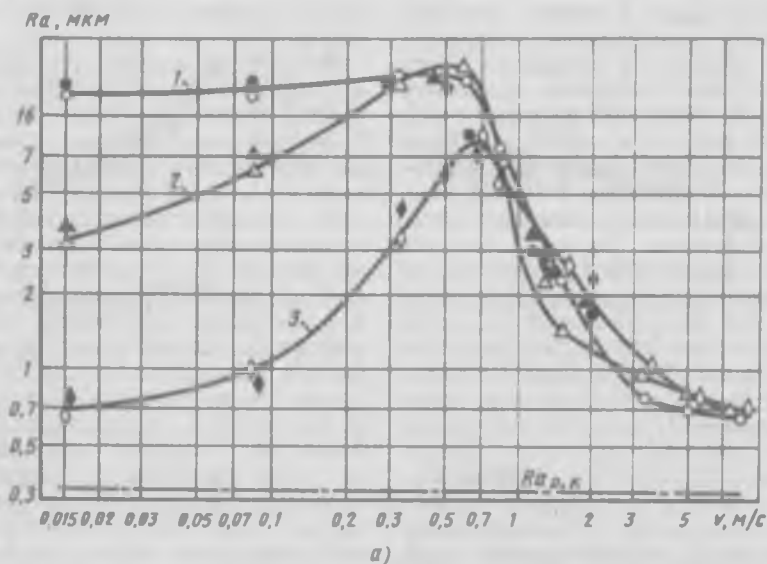


Рис. 3. Влияние скорости резания (а), толщины среза (б) и СОТС на шероховатость обработанной поверхности при свободном резании:
 а—толщина среза 0,105 мм: 1—вакуум; 2—воздух; 3—четырёххлористый углерод;
 б—скорость резания 0,015 м/с: 1—вакуум; 2—воздух; 3—четырёххлористый углерод;
 4—воздух при скорости 8 м/с; $Ra_{\text{д.к.}}$ —шероховатость режущей кромки: $\bigcirc \triangle \diamond \bigcirc$ —твёрдый сплав ВК8; $\bullet \blacktriangle \blacklozenge$ —сталь Р6М5

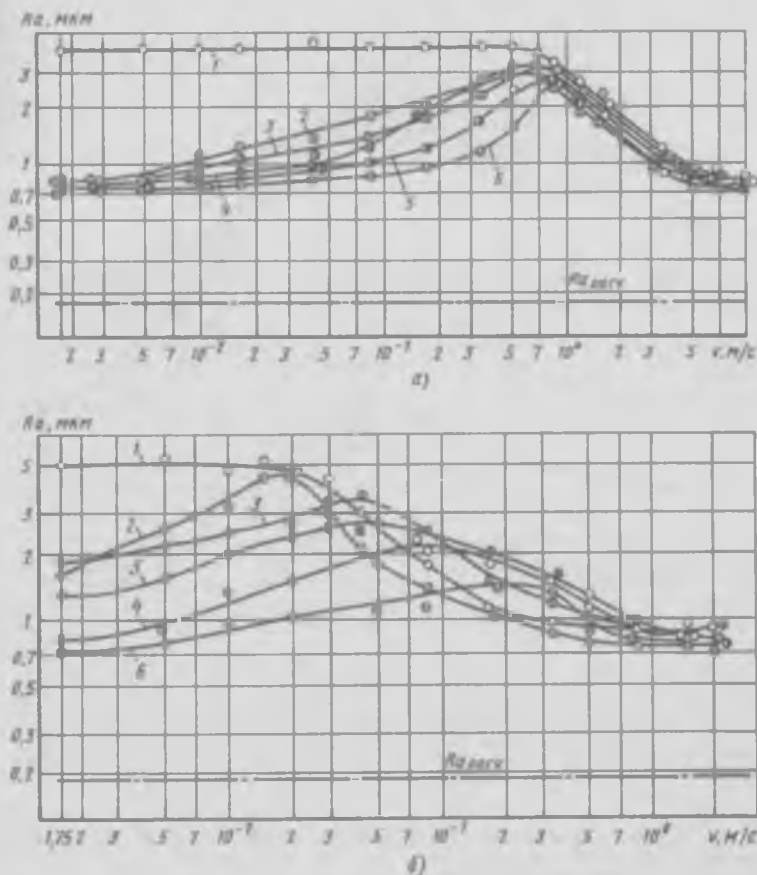


Рис. 4. Влияние скорости резания и СОТС на шероховатость обработанной поверхности при продольном точении стали 45 (а) резцами из сплава Т15К6 ($S=0,07$ мм/об; $r_b=0$, мм; $\varphi=45^\circ$; $\varphi_1=15^\circ$; $t=0,5$ мм; 1—вакуум 5 мПа; 2—воздух; 3—масло И-12А; 4—Хлорф-40; 5—вода; 6— CCl_4) и стали 12Х18Н10Т (б) резцами из сплава Т15К6 ($S=0,07$ мм/об; $r_b=0,8$ мм; $\varphi=45^\circ$; $\varphi_1=15^\circ$; $t=0,2$ мм; 1—вакуумирование 5 мПа; 2—воздух; 3—масло И-12А; 4—вода; 5—Хлорф-40; 6— CCl_4)

кинематически заторможенной зоны. Формирование такой заторможенной линзообразной зоны означает изменение геометрии инструмента (как бы образование фаски с отрицательным передним углом), что приводит к перестрой-

ке очага деформации. Перестройка выражается в изменении положения точки В (см. рис. 1)—точке разделения набегающего потока обрабатываемого металла на стружку и деформированный слой обработанной поверхности. Поло-

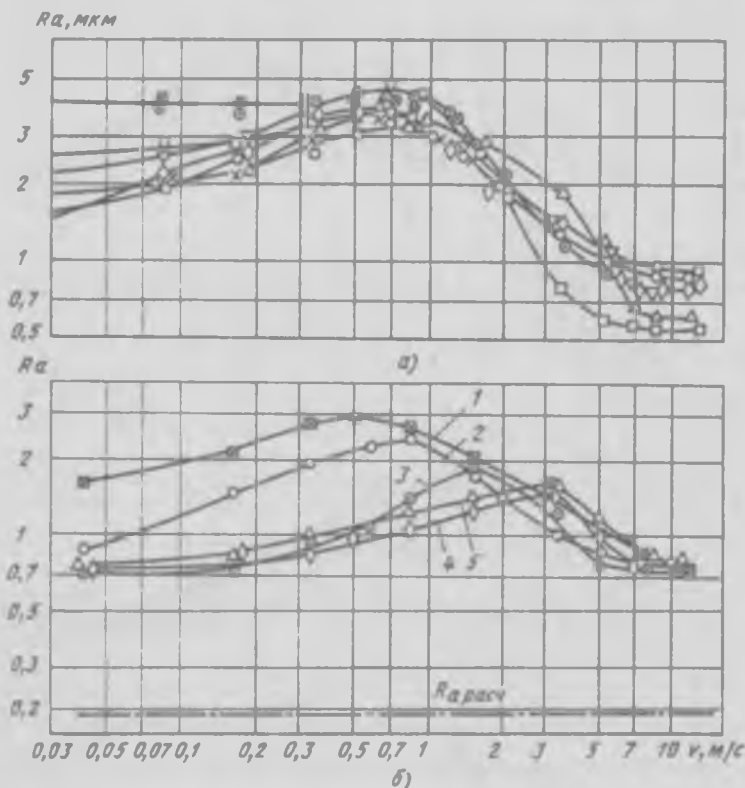


Рис. 5. Влияние на шероховатость при продольном точении стали 45 инструментальных материалов (а) и СОТС (б):

а—обработка в вакууме, инструментальный материал: ○—твердый сплав Т15К6, □—быстрорежущая сталь Р6М5; обработка на воздухе, инструментальный материал: □—Гексанит-Р; ∇—ВСК-60; △—Силинит-Р; ×—сталь Р6М5; ○—сплав Т15К6; ◇—Карбонадо; б—СОТС: 1—воздух; 2—Аквол-6 (10%-ный); 3—Аквол-6 (5%-ный); 4—Сувар (1%-ный); 5—вода; способ подачи СОТС—высоконапорная струя под стружку и кольцевая поливом с расходом 36 л/мин

жение этой точки разделения относительно геометрической линии среза (выраженное в долях толщины срезаемого слоя) может служить параметром оценки асимметрии процесса резания. Изменение положения этой точки соответствует образованию дополнительного подпора, материал

из заторможенной линзообразной зоны («зародыша» переходной зоны) начинает вытесняться в основном в направлении схода стружки и частично под заднюю поверхность инструмента. При этом происходит заполнение зоны упрочненным текстурированным материалом. Окончание заполне-

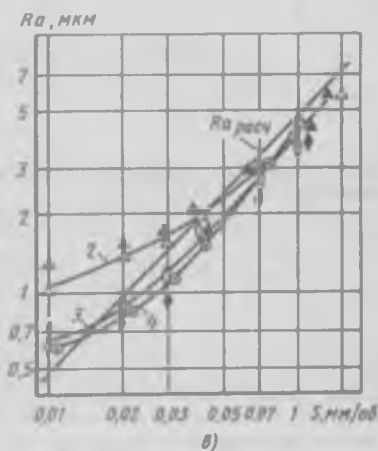
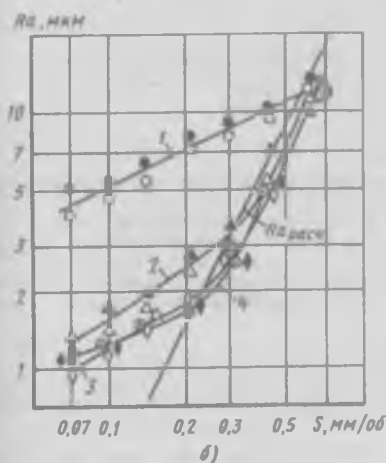
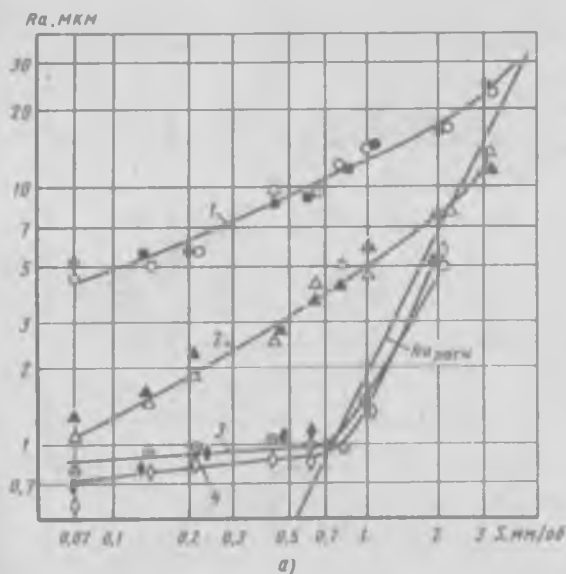


Рис. 6. Влияние подачи и СОТС на шероховатость обработанной поверхности при продольном точении стали 45 резцами с радиусами при вершине $r_n = 20$ мм (а); $r_n = 0,9$ мм (б) и $r_n = 0,1$ мм (в): 1—вакуум; $v = 0,015$ м/с; 2—воздух, $v = 0,015$ м/с; 3—воздух; $v = 8$ м/с; 4— CCl_4 , $v = 0,015$ м/с; $\circ \Delta \diamond \circ$ —сплав Т15К6. $\bullet \blacktriangle \blacklozenge$ —сталь Р6М5

1. Влияние СОТС на основные параметры зависимости шероховатости Ra от скорости резания v при точении стали 45 резцами из стали Р6М5

СОТС	A_{γ} , мкм	v_1 , м/с	v_0 , м/с	Ra_{max} , мкм	v_0^* , м/с

Свободное резание

$$a=0,035 \text{ мм}; b=5 \text{ мм}; Ra_{p.г.}=0,3 \text{ мкм}; \gamma=0; \alpha=8$$

Вакуум	0,51	—	—	9	0,65
Воздух		0,002	0,5	10	0,3
CCl_4		0,015	1,5	3,8	1,8

$$a=0,105 \text{ мм}; b=5 \text{ мм}; Ra_{p.г.}=0,3 \text{ мкм}; \gamma=0; \alpha=8$$

Вакуум	0,71	—	—	14	0,5
Воздух		—	0,5	14	0,4
CCl_4		0,015	0,7	7	0,9

Несвободное резание

$$s=0,07 \text{ мм/об}; r_n=0,8 \text{ мм}; t=0,5 \text{ мм}; Ra_{расч.}=0,19 \text{ мкм};$$

$$\gamma=0; \alpha=6^\circ; \varphi=45^\circ; \varphi'=15^\circ$$

Вакуум	0,9	—	—	3,6	0,65
Воздух		0,002	0,65	3,4	0,85
Масло И-12А		0,004	0,7	3,3	0,85
Хлорэф-40		0,01	0,7	3,2	0,85
Вода		0,012	0,8	3,2	0,85
CCl_4		0,015	0,8	3,0	0,85

$$s=0,2 \text{ мм/об}; r_n=0,8 \text{ мм}; t=0,5 \text{ мм}; Ra_{расч.}=1,6 \text{ мкм};$$

$$\gamma=0; \alpha=6^\circ; \varphi=45^\circ; \varphi'=15^\circ$$

Вакуум	1,8	—	—	7,5	0,4
Воздух		0,005	0,5	7,5	0,7
Масло И-12А		0,005	0,55	7,0	0,7
Хлорэф-40		0,008	0,6	6,5	0,7
Вода		0,015	0,65	5,5	0,7
CCl_4		0,02	0,7	4,5	0,7

$$s=0,4 \text{ мм/об}; r_n=0,8 \text{ мм}; t=0,5 \text{ мм}; Ra_{расч.}=6,4 \text{ мкм};$$

$$\gamma=0; \alpha=6^\circ; \varphi=45^\circ; \varphi'=15^\circ$$

Вакуум	6,5	—	—	15	0,33
Воздух		0,015	0,33	14	0,5
CCl_4		0,03	0,4	14	0,5

ния объема упрочненным материалом соответствует началу смены блестящего участка обработанной поверхности (где происходило копирование геометрии режущей кромки) участком с чередованием матовой и блестящей поверхно-

стей (где происходят частичная замена исходной геометрии задней поверхности режущей кромки поверхностью раздела и переход к режиму пластического течения в прилегающих слоях обрабатываемого материала). Од-

2. Влияние СОТС на основные параметры зависимости шероховатости Ra от скорости резания v при точении стали 45 резцами из сплава Т15К6

СОТС	A_p , мкм	v_1 , м/с	v_0 , м/с	Ra_{max} , мкм	v_{cr}^* , м/с	v_2 , м/с
Свободное резание						
$a=0,035$ мм; $b=5$ мм; $Ra_{p.г.}=0,3$ мкм; $\gamma=0$; $\alpha=8^\circ$						
Вакуум	0,47	—	—	9	0,33	7
Воздух		0,002	0,45	9	0,3	
CCl_4		0,01	1,5	3,5	1,8	
$a=0,105$ мм; $b=5$ мм; $Ra_{p.г.}=0,3$ мкм; $\gamma=0$; $\alpha=8^\circ$						
Вакуум	0,71	—	—	15	0,6	7
Воздух		—	0,5	14	0,4	
CCl_4		0,015	0,7	8	0,9	
Несвободное резание						
$s=0,07$ мм/об; $r_a=0,8$ мм; $t=0,5$ мм; $Ra_{расч.}=0,19$ мкм; $\gamma=0$; $\alpha=6^\circ$; $\varphi=45^\circ$; $\varphi'=15^\circ$						
Вакуум	0,8	—	—	4,2	0,5	7
Воздух		0,002	0,65	3,5	0,85	
Масло И-12А		0,003	0,65	3,3	0,85	
Хлорэф-40		0,008	0,7	3,2	0,85	
Вода		0,009	0,7	3,1	0,85	
CCl_4	0,015	0,8	3,0	0,85		
$s=0,2$ мм/об; $r_a=0,8$ мм; $t=0,5$ мм; $Ra_{расч.}=1,6$ мкм; $\gamma=0$; $\alpha=6^\circ$; $\varphi=45^\circ$; $\varphi'=15^\circ$						
Вакуум	1,8	—	—	7,3	0,4	6
Воздух		0,007	0,5	6,4	0,7	
Масло И-12А		0,008	0,55	6,2	0,7	
Хлорэф-40		0,02	0,55	5,6	0,7	
Вода		0,015	0,6	4,8	0,7	
CCl_4	0,025	0,65	4,1	0,7		
$s=0,4$ мм/об; $r_a=0,8$ мм; $t=0,5$ мм; $Ra_{расч.}=6,4$ мкм; $\gamma=0$; $\alpha=6^\circ$; $\varphi=45^\circ$; $\varphi'=15^\circ$						
Вакуум	6,4	—	—	16	0,33	3,3
Воздух		0,015	0,33	15	0,5	
CCl_4		0,03	0,4	14	0,5	

нако пластическое обтекание на этой стадии неустойчивое (стадия В, рис. 7). Происходит периодическая локализация пластического течения на границе развитой пе-

реходной зоны, и контакт обработанной поверхности с задней поверхностью инструмента становится все более редким. По мере продолжения процесса резания те-

3. Влияние СОТС, способов их подвода в зону резания и инструментальных материалов на основные параметры зависимости шероховатости Ra от скорости резания v при продольном точении стали 45

Условия выполнения операции		A ₀ , мкм	v ₁ , м/с	v _{p1} , м/с	Ra _{мин} , мкм	v ₂ , м/с
СОТС	Инструментальный материал					
Аквол (5%-ный) Способ подачи: 1 2 3	BK8	0,8	0,006	0,85	2,4	7
			0,02	1,6	1,7	
			0,1	2	1,9	
Сувар (1%-ный) Способ подачи: 1 2 3		0,76	0,05	2,5	1,8	8
			0,08	3,3	1,5	
			0,3	3,5	1,7	
Вола Способ подачи: 1 2 3		0,78	0,05	2,5	1,7	8
			0,07	3,3	1,6	
			0,2	3,5	1,4	
Четыреххлористый углерод	P6M5 T15K6 Карбонадо Гексанит-Р BOK-60 Силинит-Р	1,0	0,004	0,83	2,9	7
		0,8	0,015		3,0	
		0,5	0,004		3,2	
		0,75	—		2,5	
		0,6	—		4,4	
			—		3,5	
Воздух	P6M5 T15K6 Карбонадо Гексанит-Р BOK-60 Силинит-Р	0,9	0,002	0,67	3,5	7
		0,8	—		3,8	
		0,55	0,002		3,7	
		0,75	—		4,6	
		0,6	—		3,9	
			—		—	

Примечания 1. Режимы резания: $\gamma=0$, $\alpha=6^\circ$, $\varphi=45^\circ$, $\varphi_1=15^\circ$, $r_0=0,8$ мм, $s=0,075$ мм/об, $t=0,5$ мм; $Ra_{мин}=0,19$ мкм.

2. Способы подачи СОТС: 1—полив сверху с расходом 0,8 л/мин; 2—то же, с расходом 35 л/мин; 3—высоконапорная струя СОТС, подаваемая под стружку под давлением 12 МПа, совместно с поливом сверху через кольцевое сопло с расходом 36 л/мин.

чение упрочненного материала в переходной зоне замедляется (так как она заполняется все более упрочненным материалом с поверхности раздела), проис-

ходит более полный переход к локализации пластического течения на границе переходной зоны. На этой стадии материал переходной зоны периодически вытекает на

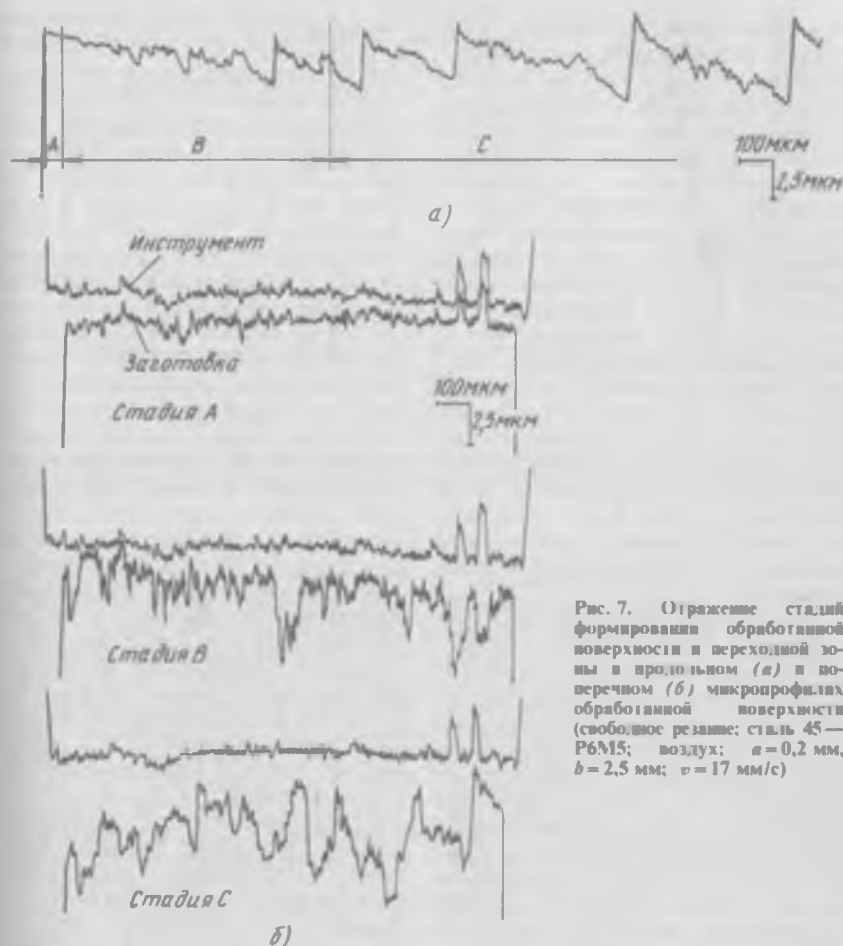


Рис. 7. Отражение стадий формирования обработанной поверхности и переходной зоны в продольном (а) и поперечном (б) микропрофилях обработанной поверхности (свободное резание; сталь 45 — Р6М5; воздух; $a = 0,2$ мм, $b = 2,5$ мм; $v = 17$ мм/с)

обработанную поверхность (в виде так называемых чешуек) и вместе со стружкой в виде аналогичных чешуек, а также отдельно от основной стружки, по бокам, с образованием так называемых усов. Таким образом, развитие фрикционного контакта приводит к замене исходной геометрии инструмента, локализации пластического течения на квазистабильной

поверхности раздела (стадия С, см. рис. 7). Положение точки разделения на два потока устанавливается в процессе самоприспособления фрикционного контакта, такая установка имеет чисто кинематический характер. Деформационное упрочнение, через которое происходит дальнейшее развитие переходной зоны и расширение квазистабильной поверхности раз-

дела, является важнейшим фактором такой самоприспосабливаемости, наряду с кинематическим фактором, но не обязательным.

Очевидно, что именно деформационное упрочнение определяет квазистабильность размеров и формы поверхности раздела, так как накопление деформированного упрочненного материала приводит к росту размера и изменению формы переходных зон, что вызывает ситуацию, когда сопротивление набегающего потока обрабатываемого материала превышает прочность на сдвиг упрочненных слоев материала переходной зоны, в результате чего происходит сход материала части переходной зоны в виде чешуйки и восстановление допустимых размера и формы поверхностей раздела.

Резание инструментом с полной передней поверхности показало качественное сходство полученных результатов с описанными выше, что позволяет предположить единый механизм самоприспосабливаемости фрикционных контактов в виде образования переходных зон и квазистабильных поверхностей раздела, отличающийся только масштабом и полнотой реализации. Дополнительным мощным фактором в этом случае является вторичное взаимодействие стружки с передней поверхностью. Однако этот фактор начинает оказывать влияние на стадии лишь тогда, когда переходная зона уже сформировалась, и он может лишь изменить масштаб явления, не меняя его сути.

Стойкость режущего инструмента является одним из параметров функционирования системы резания, характеризующих рабо-

тоспособность металлорежущего инструмента. Для решения многих практических задач используется зависимость стойкости инструмента от скорости резания. Она представляется в узком диапазоне скоростей резания (изменение не более чем в 1,5—1,7 раза) в виде эмпирической степенной функции, показатель степени которой зависит от условий резания, операции обработки резанием и др. Если же рассмотреть зависимость стойкости от скорости резания в широком диапазоне изменения последней, то обнаружится, что она не только не может быть выражена прямой, но вообще является немонотонной, а даже периодической зависимостью. Этот технологический параметр неудобен для изучения процессов изнашивания при резании по следующим причинам. Во-первых, он не позволяет сравнить износ различных участков поверхностей трения режущего инструмента между собой, так как является интегральной характеристикой, показывая время работы инструмента до определенного затупления на участке наибольшего (ведущего) износа. Во-вторых, стойкость связана с критерием затупления и определяется им. В-третьих, она зависит от скорости резания, определяясь как отношение пути, пройденного инструментом до затупления, к скорости резания, и имеет размерность времени.

Значительно более информативной при оценке изнашивания является интенсивность изнашивания. Она является одним из дифференциальных безразмерных параметров в системе оценок для анализа процессов изнашивания [10]. Линейная интенсивность изнашивания может измеряться

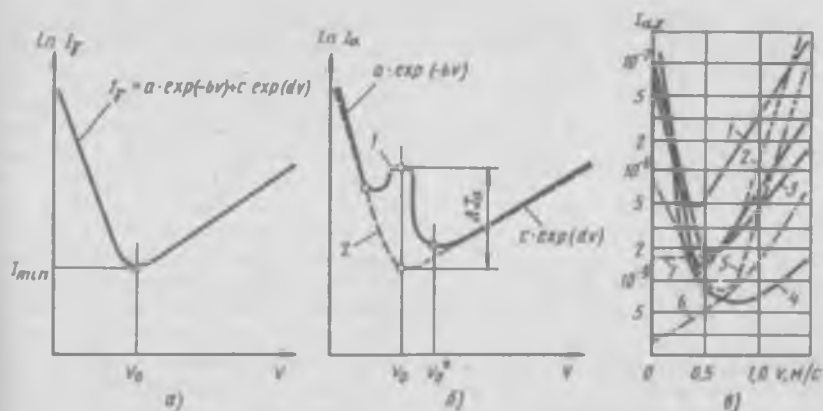


Рис. 8. Схематическое представление зависимости интенсивности изнашивания от скорости резания передних (а) и задних (б) поверхностей и экспериментальные данные эффективности воздуха (а)

в характерных зонах передней и задних поверхностей инструментов и определяется как отношение толщины изношенного слоя, измеренной по нормали к поверхности трения, к пути трения (резания), определяемого как произведение времени резания на скорость. Эта оценка, с одной стороны, позволяет при известном критерии затупления определить стойкость режущих инструментов и сама может определяться через стойкость и скорость резания, а с другой — дает возможность сравнить процессы изнашивания на различных участках передней и задних поверхностей между собой и с процессами в других условиях (например, в деталях машин). Износ режущего инструмента определяется многими факторами. Особенно важным является изучение интенсивности изнашивания на различных поверхностях трения в зависимости от скорости резания.

Эксперименты показывают, что большинству зависимостей интенсивности изнашивания I от скорости резания v для различных инструментальных и обрабатываемых материалов присуща одинаковая закономерность поведения: при увеличении скорости резания интенсивность изнашивания сначала уменьшается, а затем, достигнув минимума, возрастает (рис. 8). Анализ зависимостей интенсивности изнашивания I от скорости резания v для различных условий резания (обрабатываемые и инструментальные материалы, внешние среды, режимы резания, геометрия инструмента, операции) подтвердил указанную выше закономерность для различных поверхностей трения режущих инструментов. Интенсивность изнашивания передних поверхностей I_T (см. рис. 8, а) с ростом скорости резания до v_0 , соответствующей экстремальному значению $I_{T_{min}}$, монотонно уменьшается

4. Оценка влияния неустойчивого наростообразования на увеличение изнашивания (см. рис. 8, б)

СОТС	$\Delta I_z / I_{z\min}$
Сталь 45—Р6М5К5	
Воздух	9
Вакуум	90
Сталь 45—Р6М5	
МР-1	11
Воздух	6
Укринол-1 (5%-ная)	2
Сталь 45—Т5К10	
Воздух	5,5
Аквол-6 (5%-ная)	2,2
Сталь 45—Т15К6	
Воздух	9,5
Укринол-1 (5%-ная)	2,7
Сталь 45ХН2МФА—Т5К10	
Воздух	9,5
Укринол-1 (5%-ная)	2,7

и далее монотонно возрастает. Зависимость интенсивности изнашивания передних поверхностей I_T от скорости резания v с хорошим приближением может быть описана уравнением в виде суммы двух экспонент

$$I_T = a \exp(-bv) + c \exp(dv),$$

где v — текущие значения скорости резания; a и c — предэкспоненциальные коэффициенты; b и d — постоянные коэффициенты показателей экспонент.

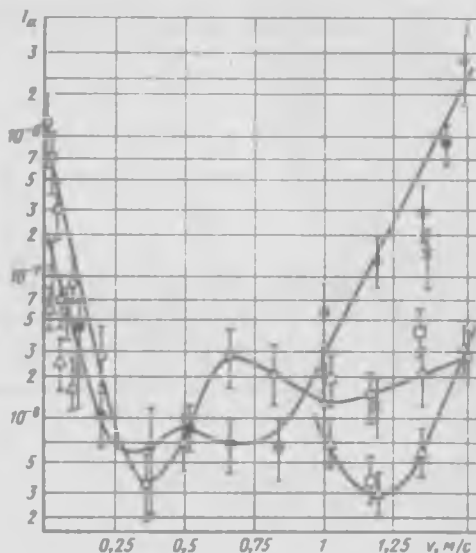
Интенсивность изнашивания задних поверхностей в целом имеет те же тенденции изменения с нарушением монотонности в окрестностях v_0 , что приводит к появ-

лению еще двух экстремумов. Если исключить это выделением функции ΔI_z (кривая 1, см. рис. 8, б), то и эта зависимость может быть представлена в виде суммы двух экспонент с экстремумом $I_{z\min}$ при v_0 (кривая 2 на рис. 8, б), но тогда $I_{z\min}$ при v_0 будет расчетным значением. Такое преобразование предоставляет возможность выявить главные тенденции изменения I_z . Функция ΔI_z характеризует отрицательную роль неустойчивого наростообразования в изнашивании задних поверхностей инструментов. В табл. 4 приведена оценка через относительную величину $\Delta I_z / I_{z\min}$ влияния наростообразования на увеличение интенсивности изнашивания.

Скорость резания v_0 , соответствующая минимуму интенсивности изнашивания, зависит главным образом от обрабатываемого и инструментального материалов и изменяется от 0,15 до 10 м/с. Минимальная интенсивность изнашивания изменяется в значительно меньших пределах (от $2 \cdot 10^{-8}$ до $5 \cdot 10^{-9}$) за исключением отдельных случаев обработки серого чугуна СЧ21 инструментами из Эльбора-Р ($I_{\min} < 10^{-10}$) и обработки молибденовых сталей и сплавов ($I_{\min} > 10^{-7}$). Применением известных внешних сред и инструментальных материалов не удастся достичь интенсивностей изнашивания, меньших 10^{-9} . Более того, эта величина оказывается при обработке с активными средствами, например водными СОТС, быстрорежущим инструментом больше по сравнению с резанием в вакууме, причем тем больше, чем более активными в химическом отношении являются внешние среды. При об-

Рис. 9. Зависимость интенсивности изнашивания I , от скорости v при точении стали 45 резцами из стали Р6М5:

● — воздух; ○ — эмульсия; △ — И-12А; × — МР-8; □ — МР-99



работке резцами из быстрорежущей стали конструкционных сталей с применением известных СОТС в отличие от резания на воздухе достигается уменьшение $I_{\min}$ до 5 раз. Различные покрытия и предварительная обработка поверхностей инструментов приводят к уменьшению $I_{\min}$ до 3 раз. Рост производительности по машинному времени при использовании инструментальных материалов, покрытий, внешних сред и других достигается в результате сдвига зависимости интенсивности изнашивания I от скорости резания v по оси скоростей (увеличение v_0) и уменьшения роста интенсивности изнашивания при $v > v_0$ (уменьшения постоянного коэффициента d показателя экспоненты).

Фактические данные, подтверждающие эти закономерности изнашивания и роли СОТС, приведены на рис. 9—11 и в табл. 5—6.

На рис. 8, в приведены зависимости $I_{a, \gamma}$ от скорости резания в разных зонах контактных поверхностей резца при резании стали 45 резцами из Р6М5К5 на воздухе (сплошные линии) и в вакууме 5 мПа (пунктирные линии). Под номерами обозначены разные зоны: 1 и 7 — зона максимальной глубины лунки, 2, 3 и 5 — зона вершины резца, изнашивание по задней поверхности на расстоянии половины ширины среза; 4 и 6 — изнашивание в зоне, соответствующей середине ширины. Из рисунка следует, что слева от экстремума воздух способствует сильному увеличению интенсивности изнашивания, причем разность значений уменьшается с ростом скорости от 1000—10 до 25—2 в зоне экстремума (с учетом функции ΔI_a разность значений в интенсивности изнашивания увеличивается до 300—3 раз [10]). Справа от экстремума

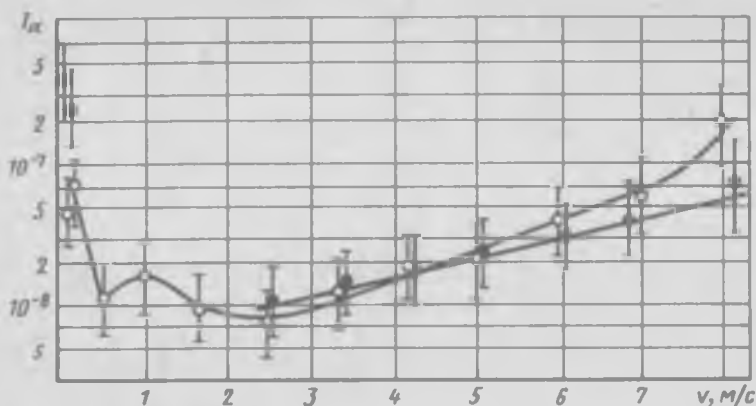


Рис. 10. Зависимость интенсивности эрозии $I_{\text{э}}$ от скорости v при точении стали 45 режущим из твердого сплава ТSK10:

○ — воздух; ● — эмульсия

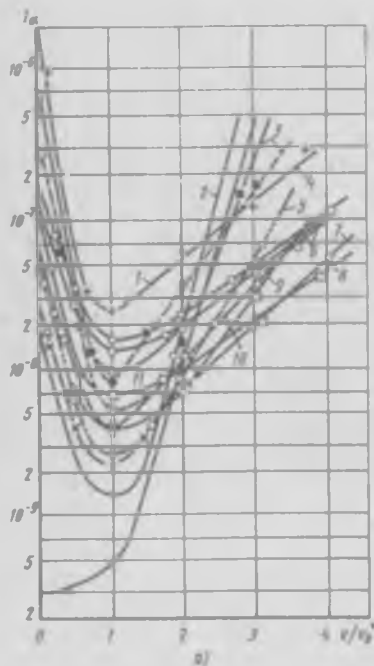
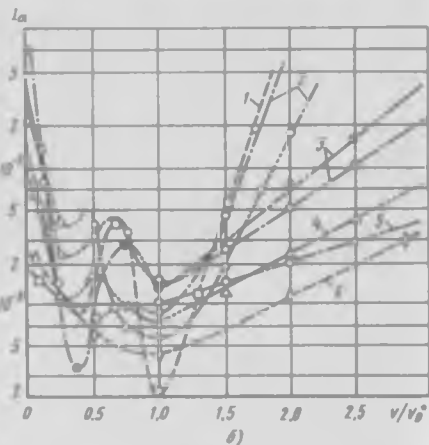


Рис. 11. Зависимость интенсивности эрозии $I_{\text{э}}$ от безразмерных скоростей v/v_0 (а) и v/v_0^2 (б):

Сталь 45—Р6М5: 1—вода; 2—вакуум; 3—воздух; 4—вода; 5—МР-1; 6—эмульсия Аквол-6; 8—МР-4; 9—И-12А; Сталь 45—ТSK10: 7—эмульсия Аквол-6; Сталь 45—Эльбор-Р 10—воздух; Сталь CK53N—EV4Co: 11—эмульсия Аквол-6



5. Оценка влияния СОТС на изнашивание режцов при точении через основные параметры зависимостей:

$$I = a \exp(-bv) + c \exp(dv); \quad I = a \exp(-b_0 v/v_0) + c \exp(d_0 v/v_0); \quad I = a \exp(-b_0^* v/m_0^*) + c \exp(d_0^* v/v_0^*)$$

СОТС	v_0 , м/с	v_0^* , м/с	I_{max}	d	d_0	d_0^*

Сталь 45—Р6М5

Воздух	0,555	0,7	$8 \cdot 10^{-9}$	5	1,3	6,7
Вакуум	0,65	0,85	$1,4 \cdot 10^{-9}$	10	3,8	7,2
Аквол-6 (5%-ная)	0,5	1,0	$1,6 \cdot 10^{-8}$	2	0,65	1,8
Укринол-1 (5%-ная)	0,6	—	$1,4 \cdot 10^{-8}$	—	0,68	—
Вода	0,5	—	$2,5 \cdot 10^{-8}$	3,5	0,82	—
ИС-12А	0,35	—	$2,2 \cdot 10^{-9}$	6,5	1,5	—
МР-1	0,45	—	$2,7 \cdot 10^{-9}$	4	1,6	—
МР-4	0,45	—	$4,5 \cdot 10^{-9}$	1,3	0,7	—

Сталь 45—Т5К10

Аквол-6 (5%-ная)	1,75	2,5	$4 \cdot 10^{-9}$	0,5	0,85	0,7
Воздух	1,15	2,5	$9 \cdot 10^{-9}$	0,7	1,15	1,2

Сталь 45—Эльбор-3

Воздух	6,5	6,5	$4,5 \cdot 10^{-9}$	—	1,0	1,4

Сталь 45—Т30К4

Воздух	3,5	3,5	$8 \cdot 10^{-9}$	0,6	—	0,6

Сталь 30ХГСА—Р6М5

Воздух	0,5	—	$1,4 \cdot 10^{-8}$	—	1,7	—

Сталь 60 (65 HRC₂)—Эльбор-Р

Воздух	0,35	—	$5,5 \cdot 10^{-8}$	—	0,8	—

СЧ18—ВК8

Воздух	1,2	—	$2 \cdot 10^{-9}$	—	1,4	—

Сталь 53N—Р30

Воздух	0,58	—	$5,2 \cdot 10^{-9}$	0,9	—	—
Эмульсия	0,75	—	$5 \cdot 10^{-9}$	0,7	—	—

Сталь 53N—ЕV4С0

Воздух	0,3	—	$9 \cdot 10^{-8}$	6,2	—	—
Эмульсия	0,5	—	$1,5 \cdot 10^{-7}$	1,9	—	—

6. Влияние сложности операций на коэффициент d показателя экспоненты правой ветви зависимости интенсивности изнашивания I_a от скорости резания v при обработке инструментами из быстрорежущих сталей

СОТС	d при		
	фрезеровании	точении	сверлении
Воздух	2,5	3—4	15—25
Эмульсия	2,0	1,5—2,0	5—10
И-12А	1,5	3,5—6,5	До 12
MP-1	—	3,5—6,5	4—13
MP-4	1,3	1,1—1,3	—

вследствие уменьшения коэффициента показателя экспоненты с $d_{\text{вк}} = 4,5 \div 10,7$ при резании в вакууме до $d_{\text{возд}} = 1,9 \div 4,4$ при резании на воздухе зависимости $I_{a,v} - v$ пересекаются, но преимущество вакуума по интенсивности изнашивания в зоне экстремума столь значительно, что пересечение происходит лишь при скоростях резания, превышающих экстремальную более чем в 2 раза, т. е. для данного случая при 1,1—1,3 м/с. Ярко выражена неравномерность изнашивания разных зон поверхностей трения резца. Отношение максимальной и минимальной интенсивностей изнашивания изменяется с ростом скорости при резании на воздухе от 5 до 30, а в вакууме — от 50 до 80 раз. Эти тенденции как бы в зеркальном отражении соответствуют изменению шероховатости обработанных поверхностей.

На рис. 9, 10 при обработке стали 45 резцами из P6M5 и из T5K10 кроме данных по интенсивности изнашивания показано и влияние СОТС и скорости резания на доверительный интервал рассеивания интенсивностей изнашивания.

На рис. 11 вместо скорости резания введена относительная безразмерная величина — отношение текущего значения скорости к величине скорости v_0 или v^* (см. рис. 8), что позволяет компактно представить сильно отличающиеся по скорости зависимости и сравнить их между собой.

Выделим три диапазона скоростей, которые отличаются разными подходами к выбору СОТС и имеют самостоятельное технологическое назначение:

диапазон I — от нуля до экстремума v_0 ;

диапазон II — от экстремума v_0 до скоростей, соответствующих стойкостям до 30 мин [$\sim 1,5 v_0^*$ или (3—4) v_0]. Это основной технологический диапазон по использованию для черновых операций обработки резанием;

диапазон III — это диапазон, соответствующий стойкостям, меньшим 30 мин, относительно мало используемым на практике.

Обработка в координатах $I_{a,v} = f(v)$ известных зависимостей стойкости от скорости для большинства масляных и водных СОТС позволяет предполагать, что влияние их на интенсивность

изнашивания подобно описанному влиянию воздуха (см. рис. 8, в).

В диапазоне I скоростей резания резание с известными водными СОТС характеризуется еще большим увеличением интенсивности изнашивания (по сравнению с резанием в вакууме до 1000 раз; например, вода и эмульсии, малые скорости резания) с одновременным уменьшением шероховатости. С ростом скорости различие уменьшается и в экстремуме составляет лишь 12,5 раз, а по шероховатости 1,5—2 раза. Причем, чем меньше интенсивность изнашивания, тем больше шероховатость. Ранжирование СОТС при этом сохраняется неизменным (в порядке уменьшения интенсивности изнашивания): вода — эмульсии — воздух — масла с химически активными присадками — масла чистые — вакуум. Внешняя среда, обеспечивающая в зоне малых скоростей меньшую интенсивность изнашивания, способствует наростообразованию и, как следствие, увеличению функции ΔI_z . Кроме того, при резании с этими СОТС растет нестабильность процесса со значительным увеличением относительного среднего квадратического отклонения интенсивности изнашивания S_{R_i} (до 0,7—0,8 вместо 0,15—0,3 для эмульсий). В этом диапазоне применением СОТС достигается уменьшение шероховатости до $Ra=0,6 \div 0,8$ мкм, т. е. до минимально возможной, определяемой особенностями процесса резания.

Наилучшие результаты по шероховатости достигаются путем уменьшения скорости резания и применения главным образом водных СОТС или масляных

СОТС с присадками, содержащими кислород (например, Хлорэф-40), а также химически активных хлорсодержащих сред. Высокий уровень интенсивности изнашивания при применении водных СОТС не позволяет использовать полностью их возможности по уменьшению шероховатости: приходится ограничиваться более высокой шероховатостью для достижения приемлемых стойкостей режущих инструментов с одновременным многократным увеличением скорости резания. Масляные СОТС [чистые минеральные масла И-12А или масла с малым содержанием химически активных присадок (ОСМ-3 и др.)] способствуют уменьшению интенсивности изнашивания. Это связано главным образом с ограничением доступа кислорода воздуха в зоны трения, увеличением переходной зоны и распространением ее на всю длину зоны контакта. Такого существенного уменьшения интенсивности изнашивания при резании с малыми и средними скоростями в вакууме и с применением масел типа И-12А не удастся добиться ни с одной из известных СОТС. Оно достигается лишь вследствие ограничения доступа кислорода воздуха к контактным поверхностям через механизмы самоприспособляемости в процессе резания фрикционных контактов [9]. Количество кислорода воздуха, которое достаточно для увеличения интенсивности изнашивания более чем в 10 раз, составляет менее одной тысячной доли содержания его в нормальных атмосферных условиях. Это означает, что воздух является внешней средой с большим избытком кислорода. Действие СОТС всегда сопровождается одновременным

воздействием кислорода воздуха на процесс резания: во-первых, при применении СОТС полностью или частично из зоны резания вытесняется воздух и тем самым уменьшается участие кислорода воздуха во взаимодействиях, и, во-вторых, СОТС и кислород воздуха могут или взаимно усиливать процессы взаимодействия (например, водные СОТС интенсифицируют стадии взаимодействия после хемосорбции кислорода) или ослаблять (например, масляная фаза в эмульсиях и масляные СОТС как барьеры доступа кислорода к поверхностям).

По внешнему виду и росту шероховатости поверхностей трения, росту фактической площади зоны контакта по передней и задним поверхностям, явно выраженному режиму приработки, приводящему к особому распределению режимов трения и изнашивания, увеличению неравномерности изнашивания, росту амплитуд колебаний составляющих силы резания и термоЭДС термопары инструмент—заготовка и другим признакам процессы трения при резании с известными СОТС в окрестностях экстремальной скорости резания могут быть идентифицированы как процессы трения с ограниченным действием внешней среды (приближающимся в отдельных зонах контакта к вакуумным условиям, т. е. к автономным механизмам взаимодействия) со всеми вытекающими отсюда последствиями. Все признаки вакуумных условий (и увеличение пластичности, адгезии, фактической площади зоны контакта, коэффициентов трения, и скачкообразность трения, и уменьшение влияния внешней среды на процессы трения, а также силь-

ное влияние обрабатываемого материала на трение и изнашивание и др.) имеют здесь место. Рост скорости резания, видимо, в результате ограничения действия СОТС на процессы деформирования срезаемого слоя и трения и все большего перевода условий реализации этих процессов в отдельных зонах контакта к вакуумным условиям становится причиной сокращения различия во влиянии известных СОТС на изнашивание и сближения экстремумов по оси интенсивностей изнашивания. Одновременно развивается и ярко выраженная неравномерность изнашивания, которая связана главным образом с возрастанием интенсивности изнашивания на краях среза. Наибольшее влияние на неравномерность изнашивания оказывают водные СОТС и воздух вследствие дестабилизации на краях переходных зон и нароста. В диапазоне I скоростей увеличение стабильности процесса резания и уменьшение шероховатости обработанных поверхностей могут быть достигнуты при применении химически активных присадок в СОТС, главным образом кислородосодержащих, лишь при большом «проигрывше» в изнашивании.

Это является, видимо, главной причиной широкого распространения в этом диапазоне масляных СОТС, особенно с присадками (MP-99, MP-4, MP-1y и т. д.), при протягивании, резьбонарезании, развертывании и т. д. Дополнительно следует учитывать существенное улучшение работы при применении этих СОТС в зонах вторичных контактов стружки с поверхностями стружечных канавок вследствие уменьшения граничного трения.

Диапазон II скоростей резания характеризуется все возрастающим влиянием температуры на механизмы самоприспосабливаемости фрикционных контактов в процессе резания, что сопровождается ростом интенсивности изнашивания режущих инструментов и уменьшением шероховатости обработанных поверхностей. Это подтверждается косвенно тем, что зависимости интенсивности изнашивания от скорости резания хорошо описываются экспоненциальной функцией.

В этом диапазоне скоростей применение СОТС становится решающим фактором уменьшения влияния скорости резания на рост интенсивности изнашивания, что количественно оценивается коэффициентом d показателя экспоненты (см. рис. 8—11 и табл. 5—6). Базовые чистые масла типа И-12А и масляные СОТС с малым содержанием присадок (ОСМ-3, МР-2), имеющие в зоне экстремума по интенсивности изнашивания значительные преимущества перед водными СОТС (до 10 раз), несмотря на возрастание в 2—4 раза коэффициента d показателя экспоненты, сохраняют это преимущество вплоть до скоростей, превышающих в 2—2,5 раза экстремальную. Такие скорости соответствуют стойкостям инструментов, меньшим 30 мин. Но обработка с этими СОТС характеризуется большой нестабильностью стойкости режущих инструментов.

Диапазон II скоростей является переходным от I к III диапазону: все СОТС, обеспечивающие минимальное изнашивание в диапазоне I, в диапазоне II свои преимущества постепенно теряют и при определенной скорости резания

интенсивности изнашивания сравниваются (см. рис. 9—11). В диапазоне II оказываются достаточно эффективными самые разнообразные СОТС: и масла, и масла с различным содержанием присадок, и эмульсии с различными присадками, в том числе с полимерами, комплексными соединениями переходных металлов и др. Для технологии обработки резанием именно этот диапазон представляет наибольший интерес, так как основные операции (сверление, точение, фрезерование и т. д.) выполняются при скоростях резания именно этого диапазона, что соответствует рекомендуемому уровню стойкостей, обеспечивающему минимальную себестоимость выполнения операций или максимальную производительность. С этой особенностью диапазона II скоростей связана возможность достижения технологической эффективности путем применения самых разнообразных составов СОТС. Влияние их на стойкость оказывается незначительным (1,5—2,5 раза). Наиболее перспективными являются масляные СОТС типа МР и эмульсии, обеспечивающие необходимый уровень стойкости и значительно большие стабильность и надежность операций обработки резанием.

В диапазоне II скоростей еще сохраняется большое влияние переходных зон на стойкость, поэтому ряд составов СОТС (масла чистые, масла с малым количеством присадок и др.), способных лишь вследствие ограничения воздействия кислорода воздуха задерживать локализацию переходных зон, которая приводит к потере ими защитных функций, оказывается еще достаточно эффектив-

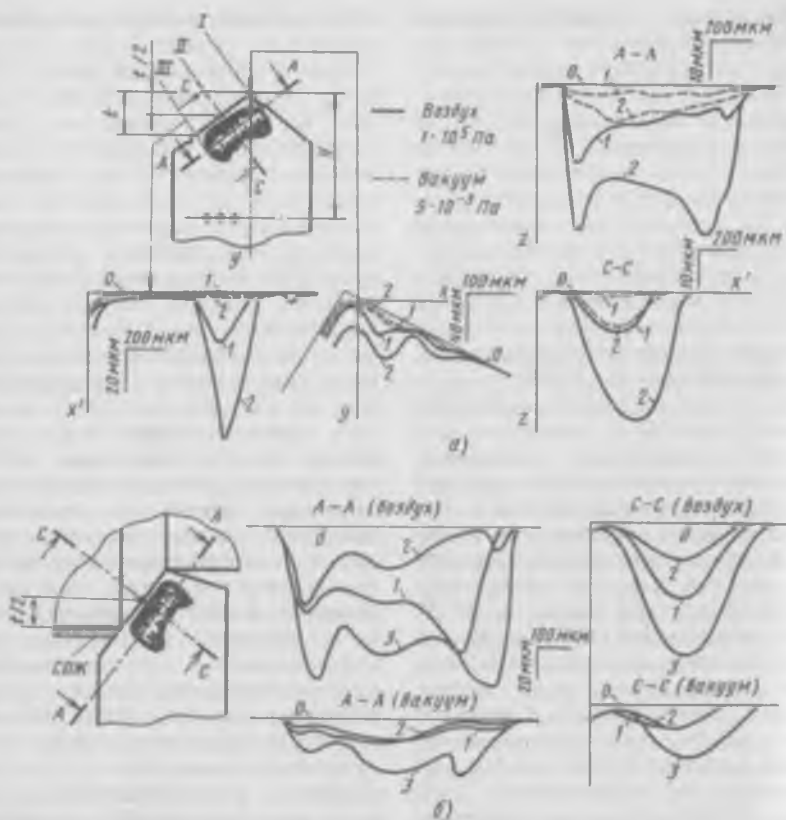


Рис. 12. Влияние воздуха и СОТС на изнашивание передних и задних поверхностей при точении стали 40Х резцами из Р6М5К5 со скоростью 65 м/мин ($S=0,14$ мм/об; $t=0,5$ мм): а—влияние воздуха; 1—путь резания 200 м; 2—путь резания 1200 м; 0—исходная поверхность; б—влияние СОТС: 1—резание без СОТС (путь резания 1800 м); 2—резание с И-12А (путь резания 1800 м); 3—резание с Хлорэф-40 (путь резания 1070 м)

ными. На рис. 12 приведены профилограммы поверхностей трения при точении стали 40Х резцами из стали Р6М5К5 со скоростью 65 м/мин. Даже при этой скорости во всех зонах поверхностей трения при резании без участия кислорода в вакууме износ значительно меньше, а влияние масла И-12А на изнашивание связано главным образом с ограничением

доступа кислорода воздуха к контактным поверхностям (см. рис. 12, б); влияние СОТС МР-1, МР-99 и присадки Хлорэф-40 также определяется в большой мере участием кислорода воздуха (табл. 7).

Для диапазона III скоростей резания наилучшими СОТС являются главным образом эмульсии, в том числе с химически актив-

7. Влияние на изнашивание состава локально нанесенной СОТС при точении стали 40X резцами из P6M5K5

СОТС	Воздух		Вакуум (5 МПа)	
	$I_1 \cdot 10^8$	$I_{22} \cdot 10^8$	$I_1 \cdot 10^8$	$I_{22} \cdot 10^8$
Без СОТС	2,2	2,1	0,5	0,7
И-12А	1,7	1,8	0,7	0,7
МР-1	1,8	1,5	0,45	0,9
МР-99	2,4	1,7	0,25	0,9
Хлорэф-40	2,7	5,6	0,5	1,7

Примечание. Режимы резания: $v=1,1$ м/с, $S=0,13$ мм/об; $t=0,5$ мм, $\gamma=0$, $\varphi=45^\circ$, $\varphi_1=15^\circ$, $\alpha=6^\circ$.

ными присадками типа Аквол-6, а также масляные СОТС типа МР с высоким содержанием химически активных присадок (МР-4, МР-99 и т. д.). Для обеспечения надежности процессов резания требуется увеличение расхода СОТС. Часто применяются специальная инструментальная оснастка с внутренней подачей СОТС, а также подвод струй СОТС с высокой скоростью к теплоотдающим поверхностям инструмента (задние поверхности) и струй СОТС, максимально перекрывающих зоны резания. В этом диапазоне скоростей обработка резанием без СОТС практически невозможна: лучшие же СОТС отличаются друг от друга по степени влияния на изнашивание незначительно (до 2 раз). С ростом скорости резания шероховатость обработанных поверхностей продолжает уменьшаться вплоть до минимально возможной A_v (см. рис. 2) без существенного влияния СОТС на изменение шероховатости. Этим определяется еще одна возможность уменьшения шероховатости при чистовых операциях. В зависимости от материала ин-

струмента относительная эффективность масел с большим количеством химически активных присадок и эмульсий может изменяться (эмульсии более эффективны для инструментов из быстрорежущих сталей с молибденом и кобальтом).

На выбор СОТС во всех диапазонах сильное влияние оказывают особенности выполнения операций обработки резанием: например, вторичные контакты стружки с поверхностями заготовки и инструмента, со стружкозавивающими и стружколомающими элементами и стружечными канавками, наличие направляющих элементов и калибрующих частей инструментов, а также прерывистость процесса резания. Температурно-силовые параметры взаимодействия на вторичных контактах и направляющих элементах значительно меньше параметров при образовании стружки и новой поверхности, что создает условия реализации на вторичных контактах смазывающих свойств присадок, содержащих S, Cl, P, I и широко применяемых в смазочных материалах

для узлов трения деталей машин. Этому может способствовать также прерывистость контакта при осуществлении многих операций резания с относительно малым временем резания за каждый цикл и, как следствие, раскрытие контакта на время прекращения резания лезвием, когда контактные поверхности могут открыто взаимодействовать с СОТС.

Как показывает анализ результатов исследований, именно облегчение вторичного взаимодействия стружки и вследствие этого уменьшение изнашивания передней и задних поверхностей, улучшение размещения стружки в стружечных канавках, обеспечение работы направляющих элементов и калибрующих частей инструментов являются причинами достаточно широкого применения масляных СОТС с химически активными присадками при токарно-автоматной обработке, где лимитирующими являются операции отрезки и сверления; при сверлении (особенно глубоком); протягивании; зубонарезании; резбонарезании метчиками. Роль этих СОТС возрастает при увеличении времени резания при фрезеровании.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СОТС

Наилучшие результаты получают при оценке технологических свойств СОТС с использованием показателей, определяющих производительность и себестоимость операций обработки резанием. Это износ и стойкость режущих инструментов, точность и шеро-

ховатость обработанных поверхностей и др. Быстрота оценки достигается вследствие определения этих показателей после периода приработки и прогнозирования периода стойкости, в том числе и технологической.

За основу оценки технологических свойств СОТС при обработке резанием обычно принимается изнашивание и стойкость режущего инструмента. Дополнительными показателями, определяющими эффективность СОТС, являются шероховатость обработанной поверхности, точность обработки, силовые параметры и др.

Среди новых показателей действия СОТС на функционирование системы резания, характерных для современного автоматизированного производства при непрерывном резании (чаще при точении) можно выделить влияние на формирование стружки и ее разделение на части. В последние годы выявлено, что именно интенсивно подаваемая струя эффективной СОТС под стружку является наиболее действенным средством управления стружкоформированием и именно с учетом этого факта можно в полной мере говорить о полифункциональности СОТС.

СОТС часто оказывают относительно небольшое влияние на стойкость режущих инструментов. Для определения этого влияния необходимо исключить воздействие на стойкость других трудно-контролируемых факторов (свойств обрабатываемого материала, режущих свойств инструментов и т. д.).

СОТС влияет не только на интенсивность изнашивания режущих инструментов, но и на другие показатели обработки резанием.

критерии затупления инструментов и вероятность их аварийного выхода из строя вследствие поломок, выкрашиваний, сколов и т. п.

Для выполнения сравнительных испытаний важное значение имеют обеспечение постоянства состава испытуемых СОТС и тщательный подбор эталонных составов, с которыми проводится сравнение. В зону резания СОТС при испытаниях подается, как правило, в виде свободно падающей струи (поливом), что приближает условия ее применения к производственным. Могут применяться и специальные методы доставки СОТС в зону резания. При подаче СОТС поливом используются специальные автономные системы с уменьшенным объемом заливки СОТС, обеспечивающие минимальные потери СОТС при эксплуатации, с быстроменными баками из коррозионно-стойкой стали и т. п. Перед каждой заливкой свежей жидкости система очищается от грязи и промывается горячим содовым раствором в случае водных СОТС и маслом И-12А при использовании масляных СОТС. При заливке нового СОТС с целью окончательной очистки системы сначала бак заполняется свежеприготовленным СОТС на 20—25% объема, включается насос на 2—3 мин, после чего СОТС сливается. Далее система заполняется исследуемым СОТС. В качестве эталонных СОТС обычно применяется керосин, масло И-12А, химический раствор (дистиллированная вода + 0,3% NaNO_2 + 0,3% Na_2CO_3). Приготовление СОТС должно проводиться в строгом соответствии с рекомендациями разработчиков.

На результаты определения технологических свойств СОТС большое влияние оказывает правильный выбор элементов режима резания, главным образом скорости резания. Основные серии испытаний целесообразно проводить на скорости резания, обеспечивающей среднюю стойкость инструментов при работе с СОТС, с которым проводится сравнение, и соответствующую минимальной себестоимости выполнения операции обработки резанием. Кроме того, для построения зависимостей стойкость—скорость резания и получения более обоснованного заключения испытания проводят, изменяя скорость резания в 1,2—1,4 раза как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения. Подача и глубина резания назначаются в соответствии с целями испытаний.

Методология производственных испытаний СОТС по сравнению с лабораторными отличается тем, что она не позволяет столь тщательно и полно регламентировать стабильность и повторяемость условий функционирования системы резания и поэтому исследования носят чаще характер наблюдений за важными в той или иной степени показателями технологического процесса. Тем не менее в программах производственных испытаний предусматривают разработку планов-графиков работы всех служб, контроль исправности оборудования и технологической оснастки, использование инструмента, прошедшего входной контроль службы ОТК, его маркировку и контроль после каждой переточки. Важным представляется проведение сравнительных испытаний эталонного и нового СОТС на одних и тех же инст-

рументах, а также осуществление технологического контроля эмульсий по показателям: концентрации эмульсола и содержанию минерального масла, pH, содержанию механических примесей и по антикоррозионным свойствам. Партии обрабатываемого материала тоже должны быть подвергнуты входному контролю по химическому составу и микроструктуре. Условием большей достоверности является применение в сравниваемых условиях одной и той же партии обрабатываемого материала.

Оценивая технологическую эффективность СОТС при резании, необходимо исходить из главных показателей, определяющих экономичность операции и качество обработанной поверхности. Особое значение имеет выбор таких параметров, которые не только дают конечный результат в конкретной технологической операции, но и позволяют более полно оценить возможности СОТС и механизмы их действия. Выбор оценочных параметров решается с помощью системы оценок действия СОТС.

Если оценивать СОТС лишь по влиянию непосредственно на стойкость инструмента или шероховатость обработанной поверхности, то такая оценка наряду с необходимостью значительных затрат времени и материала имеет весьма большой недостаток — ограниченность информации, так как упускается из виду ряд важнейших промежуточных эффектов. Использование обоснованных оценочных параметров, позволяющих быстро и многосторонне оценить СОТС при резании, является связующим звеном между технологическими испытаниями

и исследованиями механизма действия СОТС. Система оценок — это гибкая стройная система показателей, информирующих о результатах действия внешней среды на процесс резания, включающая основные параметры, ответственные за ход процесса, и дополнительные параметры, позволяющие более полно и многосторонне оценить эффективность и механизмы действия СОТС. Схема, иллюстрирующая связи, охватывающие входные оценки технологических свойств СОТС и выходные в результате идентификации основных и дополнительных показателей выполнения операции обработки резанием, показана на рис. 13.

Наиболее легко поддается контролю с помощью оптических методов изнашивание по задней поверхности, характеризующееся шириной l_n площадки с задним углом, равным нулю. Эта ширина является функцией от линейного изнашивания (измеряемого по нормали к изнашиваемой поверхности) и от действительного заднего угла, т. е.

$$l_n = \frac{l_{\Sigma}}{\operatorname{tg} \alpha},$$

где l_{Σ} — средняя толщина изношенного слоя, измеряемая по нормали к поверхности трения; α — задний угол.

Исходной характеристикой изнашивания, определяемой лишь процессами поверхностного разрушения при трении, является толщина изношенного слоя, измеряемая по нормали к поверхности. В связи с этим на результаты оценки износа задних поверхностей по ширине площадки износа l_n будет оказывать большое влияние действительный за-

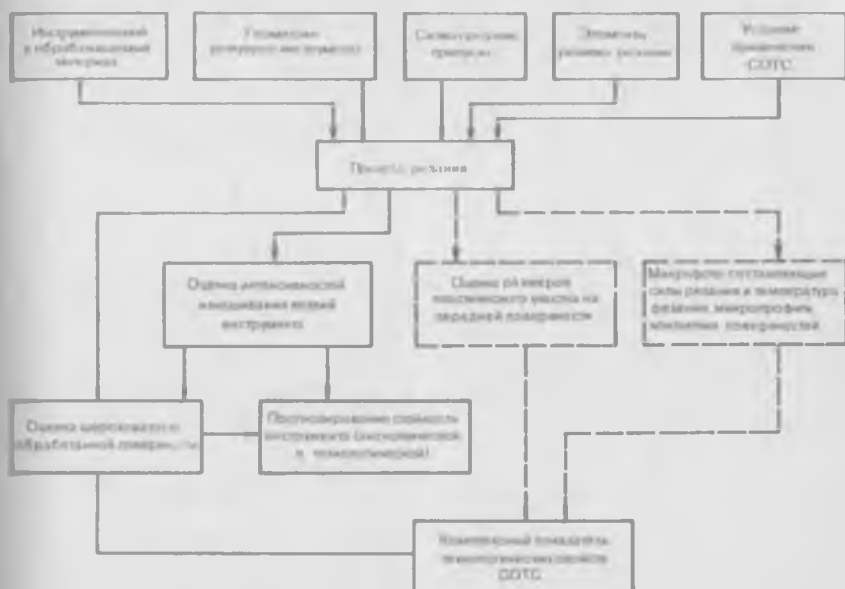


Рис. 13. К системе оценок технологических свойств СОТС

дний угол (при изменении угла на 1° погрешность измерения может достигать 15%).

Для контроля результатов изнашивания по передней поверхности используется контактный метод; для записи профиля изношенной передней поверхности — игольчатый щуп; для записи профиля изношенной задней поверхности — ровное прямолинейное лезвие, направление которого совпадает с вектором скорости резания. Игольчатый щуп дает информацию об участке поверхности, расположенном непосредственно по траектории его движения, лезвие — о неровностях, имеющих наибольшую высоту на всей ширине площадки износа по задней поверхности. Использование профилографа со специальными приспособлениями показывает нагла-

дность развития изнашивания при последовательном наложении профилограмм (см. рис. 12).

Измерение толщины изношенных слоев по нормали к поверхностям трения позволяет определить очень важную безразмерную характеристику изнашивания — интенсивность изнашивания [10]:

$$I_{\text{из}} = \frac{l_{\text{из}}}{L},$$

где L — путь трения, равный произведению относительной скорости на время.

Оценку изнашивания, как правило, проводят в трех характерных зонах (см. рис. 12): I — вершины резца; II — середины активной части главной режущей кромки; III — свободного края резца (зона взаимодействует с обрабатываемой поверхностью).

Оценка влияния СОТС на шероховатость обработанной поверхности тоже относится к одному из важнейших элементов системы оценок и не вызывает больших затруднений в реализации. Необходимо лишь принять меры к подавлению или учету непосредственного влияния геометрии инструмента и сечения среза на рельеф обработанной поверхности, поскольку это влияние может перекрывать эффект от влияния СОТС. Неравномерное изнашивание вершины и вспомогательной режущей кромки, обусловленное во многом химической активностью среды, непосредственно связано с шероховатостью обработанной поверхности и размерным износом, т. е. определяет технологическую стойкость инструмента.

К дополнительным показателям (элементам) системы оценок следует отнести температуру резания и амплитуду ее колебаний; составляющие силы резания и амплитуды их колебаний; идентификацию режима трения и переноса обрабатываемого металла на рабочих поверхностях инструмента (микроскопия и регистрация микрорельефа и т. д.). Дополнительная информация, получаемая в результате этих оценок, дает возможность более полно оценить влияние СОТС на процесс резания и изнашивание режущих инструментов и уменьшить вероятность ошибочного заключения. Кроме того, дополнительные показатели позволяют осуществить текущий контроль хода процесса резания на станочном стенде, что очень важно при работе в камерах, и предварительно получить качественную информацию о влиянии СОТС на такие определяющие показатели, как интенсивность

и диапазон скоростей наростообразования и переноса обрабатываемого металла. В случае применения дополнительных оценок необходима информация об идентификации выявляемых эффектов.

Особо следует обращать внимание на случаи неоднозначности связи функционального действия СОТС с конечным технологическим эффектом. Так, при хорошем доступе химически активной среды к контактному зонам интенсивность трения по силовым параметрам чаще всего снижается. Все сопутствующие регистрируемые эффекты будут свидетельствовать о благоприятном воздействии СОТС: температура резания и ее колебания уменьшаются; интенсивность переноса обрабатываемого материала на лезвия снижается; контактные площадки содержат следы скольжения вдоль направлений относительного движения без заметных очагов охватывания и налипания; зона пластического контакта если и остается, то локализованной близ режущей кромки; общая длина зоны контакта со стружкой и коэффициент утолщения стружки уменьшаются; стружка формируется более стабильной и удовлетворительно завитой. Однако технологический эффект, оцениваемый интенсивностью изнашивания и периодом стойкости инструмента, в этом случае может быть отрицательным, что говорит о чрезмерном химическом взаимодействии компонентов СОТС и кислорода воздуха с трущимися поверхностями. Такое изнашивание именуют окислительным, химическим, химико-абразивным и т. д. Рекомендуются при обнаружении таких

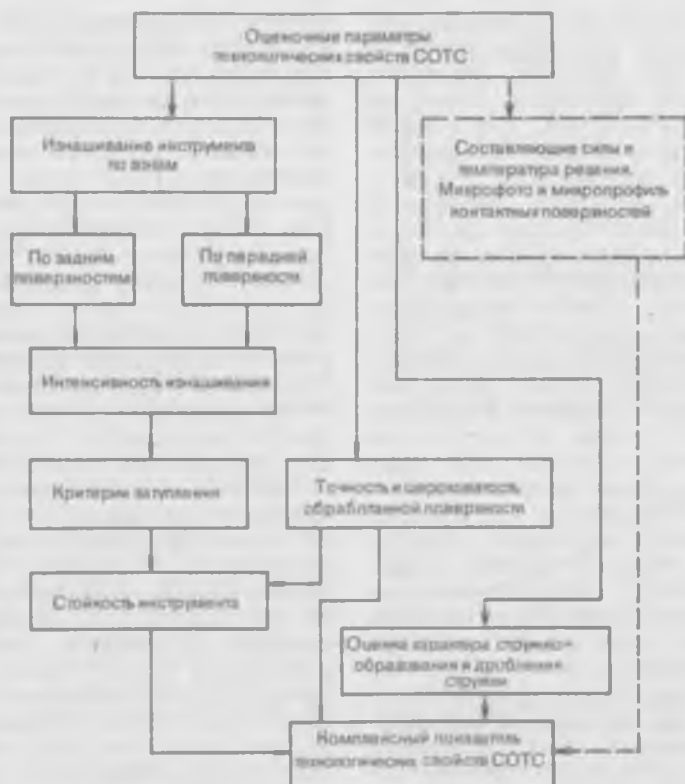


Рис. 14. Основные и дополнительные оценки технологических свойств внешней среды

эффектов могут быть такие изменения, которые ограничат доступ активных компонентов среды к зоне резания,—интенсификация режима резания либо искусственное обеднение среды химически активными компонентами.

На рис. 14 приведены основные и дополнительные оценки технологических свойств СОТС.

При испытаниях СОТС очень часто приходится определять стойкость режущих инструментов. Если известна интенсивность изнашивания $I_{изг}$, то стойкость

$$T = \frac{[I_N] \operatorname{tg} \alpha}{I_{изг} v},$$

где $[I_N]$ —допустимый износ по задней поверхности; α —задний угол; v —скорость резания.

Для черновых и получистовых операций стойкость определяется по зависимостям износ—время; для чистовых—по зависимостям износ—время, точность отверстий—время и шероховатость—время. В этом случае принимается наименьшее из трех значений стойкости.

Период стойкости режущих инструментов при нормальной их работе без поломок оценивают временем достижения такой затупленности лезвий, при которой дальнейшая работа инструмента является невозможной (технологический критерий затупления) или не целесообразной (экономический критерий затупления). Степень затупленности лезвий чаще связывают с нарастанием фаски на задней поверхности до определенного абсолютного значения. Это значение может быть фиксировано на заданном независимо от СОТС уровне (по результатам накопленного опыта) либо уточняться в ходе проводимых экспериментов, потому что известна зависимость критериев затупления от режимов резания и действия СОТС. Тенденция здесь такова, что с увеличением скорости резания, равно как и с уменьшением эффективности СОТС, критерий затупления уменьшается. В качестве исходных фиксированных значений износа по задней поверхности можно принять значения, приведенные в табл. 8.

Следующая схема испытаний и обработки их результатов позволяет уменьшить объем работ

и уточнить критерии затупления и допустимого износа: предварительно назначается в каждом конкретном случае допустимый износ; изучается зависимость износ—время для пяти режущих инструментов при работе с испытуемой СОТС на отрезке времени, составляющем примерно треть периода стойкости. Обязательным является завершение периода приработки и получение двух-трех приращений износа на участке нормального затупления. Проводится статистическая обработка результатов и отбираются два-три инструмента с минимальным отклонением значения износа от среднего и минимальными коэффициентами вариации в выборке. На них продолжается изучение зависимости износ—время вплоть до затупления инструмента. По зависимостям оценивается критерий затупления и уточняется допустимый износ, а также устанавливается вид зависимости износ—время. Затем зависимости износ—время остальных инструментов аппроксимируются до значения уточненного допустимого износа с определением стойкости.

Износ режущих инструментов можно также измерять с помо-

8. Критерий затупления (допустимый износ) по задней поверхности

Вид обработки	Быстрорежущая сталь		Твердый сплав	
	Допустимый износ, мм			
	средний	макси- мальный	средний	макси- мальный
Точение	1,50	1,50	0,40	0,75
Торцовое фрезерование	0,75	1,50	0,40	0,75
Концевое фрезерование	0,30	0,50	0,15	0,20
Сверление	0,40	0,40	0,25	0,40

щью инструментальных микроскопов ММИ-2, БМИ-1 и БМИ-1Ц. Одновременно для качественного рассмотрения изношенных поверхностей можно их фотографировать через оптическую систему микроскопов. Затушение инструментов определяют по наиболее изношенным участкам этих поверхностей, а зависимости износ—время строят для максимального износа.

Схема определения стойкости и технологической стойкости приведена на рис. 15. На зависимости износ—время проводят линию допустимого износа $[I_a]$ и от нее откладывают величину $3S_{I_a}$, которая характеризует стабильность изнашивания (S_{I_a} —среднее квадратическое отклонение; 3—коэффициент, зависящий от распределения случайных погрешностей). В результате находят точку пересечения зависимости износ—время с уровнем износа, равным $[I_a] - 3S_{I_a}$. Координата этой точки и будет равна искомой стойкости T (см. рис. 15, а).

Для определения технологической стойкости по точности обработки (см. рис. 15, б) на зависимости размер заготовки—время проводят верхнее ES и нижнее EJ допустимые отклонения. Далее находят точку пересечения зависимости с уровнем отклонения размера $ES - 3S_{EJ}$. Координата этой точки и будет равна искомой технологической стойкости. Также поступают и при определении технологической стойкости по шероховатости (см. рис. 15, в).

Измерение составляющих силы резания и крутящих моментов следует проводить с помощью динамометров УДМ-100, УДМ-600 и УДМ-1200. Для записи используется электронный авто-

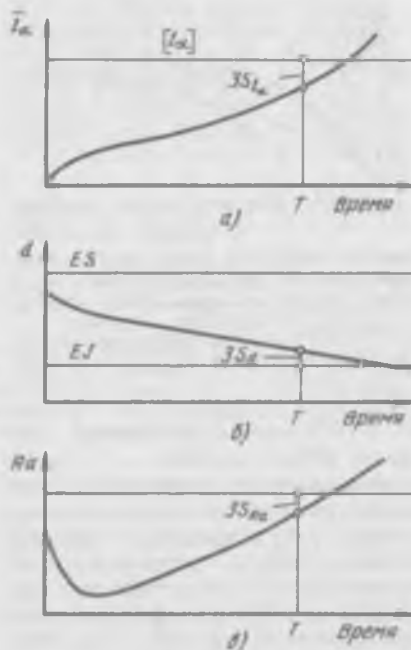


Рис. 15. Схемы определения стойкости и технологической стойкости по зависимостям: износ—время (а), размер заготовки—время (б) и шероховатость—время (в)

матический самопишущий потенциометр (типа КСП-4).

3. СОТС ДЛЯ ОБРАБОТКИ СЕРЫХ ЧУГУНОВ

При точении чугуна СЧ20 резцами из твердого сплава ВК8 3%-ная эмульсия Укринол-1 имеет такие же технологические свойства, какими обладают лучшие зарубежные синтетические и эмульсионные СОТС. При этом стойкость резцов по сравнению с их стойкостью при обработке на воздухе без СОЖ увеличивается в 2—3 раза. Близкие показатели зафиксированы при работе

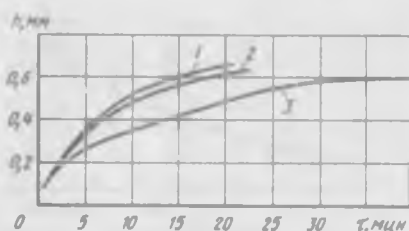


Рис. 16. Зависимость длины сверла h от времени резания t при сверлении серого чугуна СЧ20 (сверло из стали Р6М5 $\varnothing 10$ мм; $v = 0,7$ м/с; $S = 0,28$ мм/об; $l = 20$ мм): 1 — ЭТ-2 (5%-ная); 2 — резание всухую; 3 — Укринол-1 (3%-ная)

с 3—5%-ными растворами Аквол-6 и Аквол-10М.

Аналогичные результаты были получены при точении серого чугуна СЧ18 резцами из твердых сплавов ВК6 (с покрытием и без покрытия), ТН 20 и минеральной керамики ВОК 60 с применением распыленной эмульсии. При точении серого чугуна использование распыленных СОЖ резко снижает содержание пыли в зоне дыхания рабочих по сравнению с точением на воздухе без СОЖ. При точении серого чугуна твердым сплавом КНТ-16 применение СОЖ поливом снижает стойкость резцов, а распыленные СОЖ увеличивают стойкость резцов в 4—5 раз по сравнению со стойкостью резцов при резании на воздухе без СОЖ [8]. В качестве СОТС использовались 1,5%-ные Укринол-1, Аквол-6, Аквол-10М.

При сверлении чугуна СЧ20 влияние СОТС на изнашивание и стойкость сверл в целом невелико: эффективные СОТС повышают стойкость сверл (по сравнению с работой на воздухе без СОЖ) в 2 раза (рис. 16), в то время как при сверлении других материалов СОТС увеличивают

стойкость сверл более значительно. Характерное изнашивание сверла при обработке чугуна сверлами из быстрорежущей стали — абразивное. Различие технологических свойств тех или иных СОТС при сверлении серого чугуна инструментами из быстрорежущих сталей незначительно, и предпочтение следует отдавать жидкостям с лучшими сопутствующими эксплуатационными свойствами.

При развертывании чугуна СЧ20 и СЧ30 развертками из твердого сплава ВК6 водные СОТС позволяют получить меньшую шероховатость обработанной поверхности, чем масляные; развертывание с применением как водных, так и масляных СОТС сопровождается усадкой отверстий; водные СОТС способствуют получению большей усадки, чем масляные СОТС (табл. 9). СОТС на водной основе в отличие от масляных жидкостей интенсифицируют изнашивание разверток. Повышение

9. Влияние СОТС на точность и шероховатость обработанной поверхности при развертывании серого чугуна СЧ20 (ВК6; $v = 0,2$ м/с; $S = 0,18$ мм/об; $t = 1$ мм)

СОТС	R_a , мкм	$d_{отв} - d_{полн}$, мкм
МР-1	0,9	—7
МР-2	0,85	—8
МР-4	0,85	—7
И-12А	0,7	—7
ОСМ-3	0,7	—6
Керосин	0,3	—7
НГЛ-205 (5%-ная)	0,25	—9
СДМУ (5%-ная)	0,2	—10
ЭТ-2 (5%-ная)	0,15	—13
Укринол-1 (5%-ная)	0,15	—13
Всухую	5,3	+22

скорости резания в диапазоне 0,1—0,4 м/с приводит к значительному увеличению шероховатости обработанной поверхности и уменьшению усадки отверстий при работе со всеми СОТС. Реза-

ние быстрорежущими развертками сопровождается их интенсивным абразивным изнашиванием.

При резьбонарезании метчиками чугуна СЧ20 СОТС оказывают значительное влияние на изнаши-

10. Влияние СОТС на точность и шероховатость поверхностей и стойкость метчиков из стали Р18 при резьбонарезании серого чугуна СЧ20 ($v = 9,4$ м/мин)

СОТС	$d_{\text{метч}}$ мм	Дисперсия раз- мера от- верстия, мм	Скорость уменьше- ния $d_{\text{разв}}$ мм·мин	Ra	Диспер- сия шерохо- ватости
				мм	
Керосин	8	2,1	0,13	1	0,3
ОСМ-3	9	1,9	0,14	1,1	0,28
Укринол-1 (3%-ная)	13	3,3	0,25	1,1	0,38
Аквол-6 (5%-ная)	14	2,6	0,22	1,2	0,33
МР-1	12	2,3	0,19	1,1	0,33
Аквол-10М (5%-ная)	16	3,6	0,28	1,2	0,35
И-12А	14	2,4	0,19	1,3	0,31
ЭТ-2 (5%-ная)	19	4,1	0,31	2,7	0,51
Вода + 0,3% NaNO_3 + + 0,3 NaCO_3	16	12,7	0,62	5,5	1,02
Без СОТС, на воздухе	41	16,5	1,92	10	1,58

СОТС	Скорость увеличе- ния ше- рохова- тости, мм·мин	Стойкость, мин. по					
		шероховатости до Ra , мм				точно- сти (квали- тет 6Н)	износу при $[i\alpha] =$ $= 0,6$ мм
		2,5	5	10	20		
Керосин	0,003	190	990	—	—	650	60
ОСМ-3	0,004	150	775	—	—	605	55
Укринол-1 (3%-ная)	0,014	2	194	—	—	300	49
Аквол-6 (5%-ная)	0,009	5	173	—	—	288	46
МР-1	0,011	39	317	—	—	406	46
Аквол-10М (5%-ная)	0,025	7	172	—	—	290	44
И-12А	0,08	19	144	475	—	198	42
ЭТ-2 (5%-ная)	0,086	—	112	306	511	122	39
Вода + 0,3% NaNO_3 + + 0,3 NaCO_3	0,1	—	—	14	114	47	29,5
Без СОТС, на воздухе	0,48	—	—	—	14	4,4	15

11. Рекомендации по применению СОТС при обработке серого чугуна

Операция	СОТС			Основание для рекомендации	
	рекомендуемая	заменяемая		Достижимый коэффициент износа и стойкости инструмента	Достижимая шероховатость обработанной поверхности, мкм
Точение твердосплавными резцами	Укринол-1 (3-5%-ная)	Без СОТС на воздухе	3	3	Технологические свойства те же, что у зарубежных СОТС аналогичного назначения
Сверление сверлами из быстрорежущих сталей	Укринол-1 (3%-ная)		2	—	—
Развергивание твердосплавными развертками	Укринол-1 (3-5%-ная)	ЭТ-2 (5%-ный)	—	—	$Ra \leq 0,63$ ($v = 12$ м/мин), $Ra = 0,63 \pm 1,25$ ($v = 20$ м/мин) Достигается лучшая шероховатость, чем при использовании зарубежных СОТС аналогичного назначения
Резьбофрезование метчиками из быстрорежущей стали	Укринол-1 (3%-ная)		0,8	0,8	
	ОСМ-3	Керосин	1,3	1,3	Улучшение санитарно-гигиенических условий
Фрезерование дисковыми фрезами из быстрорежущей стали	Укринол-1 (5%-ная)		Опыт ВАЗа и КамАЗа	Опыт ВАЗа и КамАЗа	—

вание метчиков по задней поверхности, на средний диаметр нарезаемой резьбы и шероховатость резьбовой поверхности (табл. 10). Так, при резании на воздухе без СОТС интенсивность изнашивания метчиков почти в 3 раза выше, чем при применении СОТС; отклонение среднего диаметра резьбы от диаметра метчика при резании на воздухе без СОТС на 50—80 мкм больше, чем при резании с СОТС; параметры шероховатости резьбовой поверхности при резании на воздухе без СОТС находятся в пределах $Ra = 10 \div 20$ мкм, а при работе с СОТС $Ra = 1 \div 2$ мкм.

Износ метчиков за период обработки составляет 0,2—0,4 мм. Одновременно уменьшается средний диаметр резьбовых отверстий и увеличивается шероховатость поверхности. После периода обработки износ, размер и шерохо-

ватость резьбовых отверстий изменяются во времени практически по линейной зависимости с меньшей интенсивностью (скорости изменения размера и шероховатости отверстий приведены в табл. 10).

При резании на воздухе без СОТС наряду с ухудшением качества резьбы стойкость инструмента по сравнению со стойкостью при резании с керосином снижается в 4 раза.

Влияние СОТС на зависимость стойкости метчиков от скорости резания приведено на рис. 17.

Технологические свойства СОТС и рекомендации по их применению при обработке серых чугунов, составленные на основании результатов стендовых и эксплуатационных испытаний, а также реального опыта их эксплуатации, приведены в табл. 11.

4. СОТС ДЛЯ ОБРАБОТКИ УГЛЕРОДИСТЫХ И ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Применение СОТС в процессе точения, как правило, оказывается эффективным при работе инструментами из всех инструментальных материалов. По сравнению с резанием на воздухе без СОТС технологические среды увеличивают стойкость резцов в зависимости от скорости резания до 2,5 раз или позволяют повысить скорость резания до 20% при сохранении постоянной стойкости резцов (рис. 18). Наименьшая стойкость резцов была получена при работе с сульфорезолем. Масляная жидкость МР-1у, содержащая химически активные присадки, обеспечивает стойкость инструментов в 2—2,7 раза большую, чем сульфорезол (большой коэффициент повышения стойко-

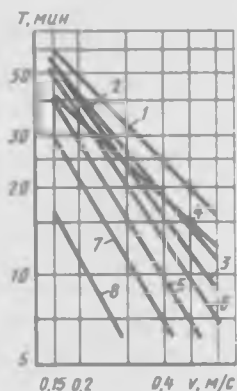


Рис. 17. Зависимость стойкости T метчиков от скорости резания v при нарезании резьбы в сером чугуне СЧ20 (метчики из Р18М12Н2):

1—керосин; 2—ОСМ-3; 3—И-12А; 4—МР-1; 5—ЭТ-2 (5%-ный); 6—Укринол-1 (8%-ная); 7—вода + 0,3% NaNO_2 + 0,3% Na_2CO_3 ; 8—резание всухую

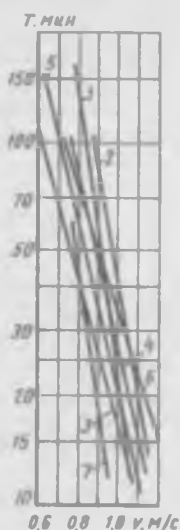


Рис. 18. Зависимость стойкости T резцов из стали Р18 от скорости резания v при точении стали 45 ($S=0,2$ мм/об; $t=1$ мм): 1—И-12А; 2—МР-99 (10%-ный) + И-12А; 3—сульфорезол; 4—МР-1у; 5—ЭТ-2 (5%-ная); 6—Укривол-1 (3%-ная); 7—всушую

сти относится к работе с повышенными скоростями резания). При использовании масляных СОТС для обработки стали 45 резцами из быстрорежущей стали выявлены следующие закономерности: масляные жидкости с химически активными присадками (МР-1у) эффективны при работе на повышенных скоростях резания, а при работе на низких скоростях резания наибольшая стойкость обеспечивается маслами без присадок (И-12А) или с малым количеством присадок (5—10% МР-99 или МР-5у). Такие присадки оказываются более универсальными и сохраняют достаточную эффективность при стойкости инструмента 20 мин

и более. Подобные результаты были получены при обработке стали 30ХГСА с масляной жидкостью ОСМ-3, тоже содержащей небольшое количество присадок.

При работе с маслом И-12А без присадок наблюдается повышенный разброс значений стойкости резцов. Так, коэффициент вариации стойкости при работе с маслом И-12А на различных скоростях резания составил 0,6—2,0, а с МР-1у—0,1—0,3. Введение в масло И-12А присадок, содержащих химически активные вещества (МР-5у, МР-99) в 2—3 раза снижает коэффициент вариации. Поэтому применять масло И-12А без присадок нецелесообразно, особенно в условиях автоматизированного производства.

Перспективными являются масляные СОТС типа МР-8 (присадка к базовому маслу типа И-12А) и МР-9 (готовая СОТС). Они в 2-4 раза повышают стойкость резцов (по сравнению с МР-1у). Для уменьшения дымления при работе с масляными СОТС на повышенных режимах резания следует увеличивать их подачу до 20—30 л/мин на резец.

Кривые зависимости износа от времени резания, полученные при работе с маслами, отличающимися различным содержанием присадок, пересекаются (рис. 19). СОТС, содержащие химически активные присадки, вызывают повышенное изнашивание резцов в начале периода стойкости, но могут способствовать сохранению их работоспособности при больших значениях износа, когда при работе с СОТС без присадок наступает резкая потеря режущих свойств. Так, для МР-1у и смесей МР-1у с И-12А предельный износ по вспомогательной задней по-

верхности (износ при вершине) составил 0,5—0,8 мм, а для масел И-12А и веретенного АУ без присадок—0,3—0,4 мм. Предельный износ резцов при работе с водными СОТС на этом режиме резания достигал 1 мм и более.

При точении со скоростью выше 1 м/с водные СОТС, как правило, обеспечивают стойкость резцов в 2 раза большую, чем масляные СОТС с присадками. При низких скоростях резания они уступают масляным СОТС без присадок или с небольшим их содержанием (см. рис. 18). Из испытанных СОТС на водной основе лучшие результаты показали синтетическая жидкость Аквол-10М (3%-ная) и эмульсия Аквол-6 (5%-ная); они повышали стойкость по сравнению с другими СОТС примерно в 1,5 раза. Эмульсия Укринол-1 (3%-ная) не имеет значительных преимуществ по стойкости перед эмульсией ЭТ-2, за исключением зоны повышенных скоростей резания.

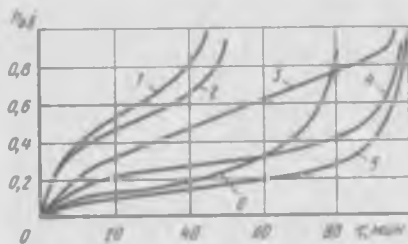


Рис. 19. Зависимость износа $h_{вк}$ резцов из стали Р18 по тангенциальной грани от времени резания τ при точении стали 45 ($v=1$ м/с; $S=0,2$ мм/об; $t=1$ мм): 1—MP-1; 2—MP-1 (50%-ный)+И-12А; 3—MP-1 (20%-ный)+И-12А; 4—MP-1 (5%-ный)+И-12А; 5—И-12А; 6—масло веретенное АУ

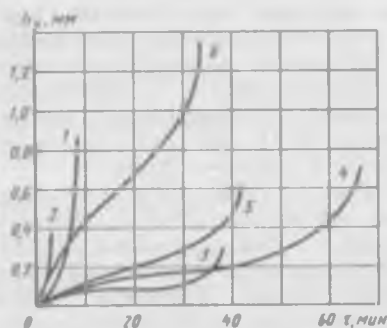


Рис. 20. Зависимость износа $h_{вк}$ резцов из стали Р6М5 по тангенциальной грани от времени резания τ при точении стали 45 ($v=70$ м/мин; $S=0,2$ мм/об; $t=1$ мм): 1—MP-1; 2—воздух; 3—воздух + TiN; 4—Укринол-1 + TiN; 5—MP-1 + TiN; 6—Укринол-1

СОТС повышают стойкость резцов из быстрорежущей стали с износостойким покрытием в 2 раза по сравнению со стойкостью при резании без СОТС (рис. 20). При этом на резцах с покрытиями отмечается уменьшение допустимого износа до 0,2—0,5 мм по сравнению с 0,3—1 мм на резцах без покрытия (меньшие значения допустимого износа относятся к точению на воздухе, а большие—к точению с водными СОТС).

СОТС на водной основе целесообразно применять также при точении твердосплавными резцами. В этом случае достаточно эффективными оказались эмульсии Укринол-1 (3%-ная) и Аквол-6 (5%-ная).

Эффективность СОТС на водной основе при точении резцами из безвольфрамового твердого сплава КНТ-16 выше, чем при точении резцами из сплава Т15К6: применение СОТС, в том числе

специальных синтетических смазочных материалов, содержащих соли мягких металлов, повышает стойкость резцов Т15К6 в зоне минимума интенсивности изнашивания до 3—4 раз, а резцов из КНТ-16—до 8—12 раз.

В тех случаях, когда невозможно применение СОТС подливом, следует использовать СОТС в распыленном состоянии; при этом способе стойкость резцов из быстрорежущей стали увеличивается до 5 раз, а твердосплавных—до 2,5 раза [8].

При отрезании резцами стали 45 со скоростью 0,7 м/с и подачей 0,06 мм/об более эффективными оказались СОТС на водной основе. При этом наблюдались разные значения предельного износа, большие значения которого ведут к катастрофическому изнашиванию резцов: при применении масляных СОТС без присадок или с малым количеством их (М-12А, ОСМ-3 и др.) она составила 0,6—0,8 мм, масляных СОТС с присадками (сульфорезол, МР-1у, МР-2у и др.)—0,8—1 мм, а при работе с эффективными водными СОТС резцы сохраняли режущие свойства при износе свыше 1 мм. Резание на воздухе без СОТС на этом режиме оказалось невозможным вследствие крайне низкой стойкости инструмента.

Переход к менее напряженным условиям резания в результате уменьшения подачи до 0,03 мм/об существенно сказывается как на характере зависимости износа резцов от времени резания, так и на порядке распределения СОТС по их влиянию на стойкость резцов. Катастрофическое изнашивание резцов не наблюдалось на этом режиме резания при износе свыше 1 мм, а начальный износ по окон-

чании стадии приработки в некоторых случаях увеличился до 0,4 мм по сравнению с 0,2—0,25 мм при больших подачах. Водные СОТС, имевшие лучшие показатели в более напряженных условиях резания, на этом режиме резания уступают масляным СОЖ, при этом наблюдается даже снижение стойкости инструмента, т. е. резкое возрастание интенсивности изнашивания. Напротив, при применении масляных СОТС без присадок (И-12А) или с малым количеством присадок (ОСМ-3) в этих условиях значительно увеличивается стойкость инструмента, поэтому СОТС становятся эффективными. Масляные СОТС с присадками в некоторых случаях, как и водные, снизили стойкость (например, МР-1у и сульфорезол).

При обработке стали 40Х получены практически такие же, как и при резании стали 45, закономерности изменения относительной эффективности СОТС при изменении условий резания.

Эффективность СОТС при сверлении по сравнению с точением заметно повышается; при сверлении с эффективными СОТС вместо резания на воздухе без СОТС коэффициент изменения скорости резания при сохранении постоянной стойкости инструмента по сравнению с точением возрастает в 1,2 раза.

На рис. 21 приведены результаты испытаний СОТС при сверлении стали 40Х с различной скоростью резания. Например, при скорости 0,52 м/с стойкость сверл при работе с водными СОТС увеличилась до 2 раз вследствие сохранения режущей способности инструментов при больших значениях износа (среднее

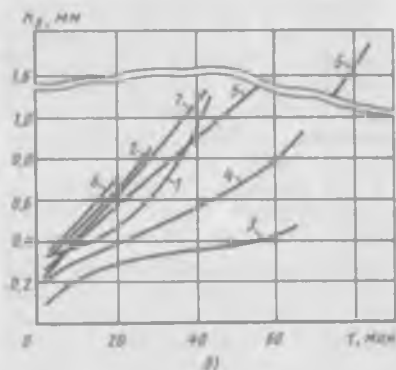
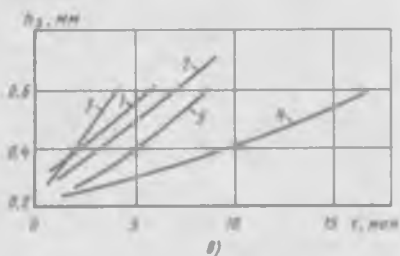
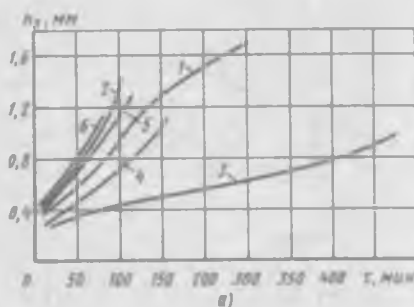


Рис. 21. Зависимость износа h_z сверл из стали Р18 по задней грани от времени резания t при обработке стали 40Х ($\varnothing$ 10 мм; $S=0,2$ мм/об; $l=20$ мм) со скоростью резания 0,45 м/с (а), 0,52 м/с (б) и 0,75 м/с (в): 1—вода + 0,3% NaNO_2 + 0,3% Na_2CO_3 ; 2—ЭТ-2 (5%-ная); 3—И-12А; 4—МР-1; 5—МР-2; 6—сульфорезол; 7—СДМУ-2 (10%-ная)

значение предельного износа вершины сверла изменяется от 0,75—0,95 мм до 0,85—1,25 мм).

Предельный износ по задним поверхностям сверла при работе с масляными СОТС изменяется в более широких пределах, чем для СОТС на водной основе: от 0,5—0,55 мм (с маслами типа веретенное АУ и И-12А без присадок) до 0,7—0,9 мм (с маслами, содержащими противоизносные присадки). Масляные СОТС по сравнению с водными обуславливают в целом более низкую интенсивность изнашивания, но меньший предельный износ, при котором теряются режущие свойства сверл. Стойкость инструментов при работе с различными СОТС определяется сложным влиянием СОТС на интенсивность изнашивания и предельный износ. По влиянию на стойкость сверл СОТС можно разбить на три

группы: 1) при работе с которыми стойкость несущественно отличается от стойкости при работе с эталонным СОТС, т. е. 5%-ной эмульсией ЭТ-2 (к этой группе относятся масло веретенное АУ, сульфорезол, 10%-ная осерненная эмульсия ЭТ-2); 2) увеличившие стойкость по сравнению с 5%-ной эмульсией ЭТ-2 в среднем в 1,4 раза (к ним относятся зарубежные эмульсии типа Укринол-1 и синтетические СОТС, 10%-ная эмульсия СДМУ-2, вода + 0,3% NaNO_2 + 0,3% Na_2CO_3 и масло И-12А + 5% МР-99); 3) увеличившие стойкость по сравнению с 5%-ной эмульсией ЭТ-2 в 2,2—2,8 раза (к ним относятся масляные СОТС И-12А, МР-1, МР-2, И-12А + 20% МР-99).

При применении сульфорезола вследствие недостаточных проникающих его свойств наблюдался большой разброс значений

стойкости (6—45 мин), что привело к высокому коэффициенту вариации стойкости, равному 0,7. По сравнению с сульфозфрезолом масла МР-1у, МР-2у, И-12А + 20% МР-99 увеличили среднюю стойкость сверл в 3—3,8 раза при значительном уменьшении коэффициента вариации (до 0,15—0,35).

Характерно изменение предельного износа сверл в зависимости от режима резания. При скорости резания 0,75 м/с предельный износ задних поверхностей сверла уменьшается до 0,5—0,6 мм и становится малозависимым от СОТС, в то же время при скорости резания 0,45 м/с он составляет 0,9—1,7 мм, увеличиваясь, по сравнению с износом при скорости резания 0,52 м/с, для всех СОТС, за исключением МР-2у (см. рис. 21). При этом графическая зависимость стойкости сверл от скорости резания для МР-2у перестает быть прямой линией вследствие повышенной стойкости, зафиксированной при скорости резания 0,52 м/с, обусловленной высоким значением предельного износа по задним поверхностям и на периферии сверла (1,8 мм). Сверла, потерявшие режущие свойства при одном режиме резания, могут продолжать работу при другом, более низком режиме.

Сульфозфрезол по сравнению с другими масляными СОТС уменьшил стойкость сверл при скорости резания 0,45 м/с. Кроме того, сульфозфрезол уступает другим масляным СОТС по сопутствующим эксплуатационным свойствам. В частности, при работе с сульфозфрезолом возникало интенсивное дымление вследствие его высокой вязкости и низких

охлаждающих свойств (поэтому было невозможно провести испытание сульфозфрезолом при скорости резания 0,75 м/с).

Наблюдается изменение относительной эффективности СОТС при разной скорости резания. В зоне более высоких скоростей резания (0,75 м/с) эффективнее СОТС МР-1у, содержащее наибольшее количество противоизносных присадок, в то время как при уменьшении скорости резания до 0,45 м/с наибольшая стойкость сверл зафиксирована при работе с маслом И-12А. Во всем диапазоне исследованных скоростей резания масляные СОТС обеспечивают большую стойкость сверл, чем водные.

Отсюда следует, что сверление сталей типа 40Х сверлами из быстрорежущих сталей для увеличения стойкости инструментов целесообразно вести с использованием масляных СОТС. Масла с противоизносными присадками эффективны при повышении напряженности условий обработки (стойкость сверл менее 60 мин). При пониженных режимах резания (стойкость сверл более 80 мин) лучшие результаты обеспечивают масла без присадок или с небольшим их количеством.

При сверлении стали 45 влияние СОТС на изнашивание и стойкость сверл в целом такое же, как и при обработке стали 40Х. Отличительная особенность заключается в том, что на повышенных скоростях резания водные СОТС обеспечивают стойкость сверл до 10 раз большую, чем масляные, что позволяет повысить скорость резания (при сохранении постоянной стойкости инструментов) до 1,5 раз (рис. 22). Наибольшая стойкость получена

при работе с синтетической СОЖ Аквол-10 (3%-ная) и эмульсиями Аквол-2 (5%-ная) и Аквол-6 (5%-ная). В этом случае стойкость в 2,5—5 раз выше, чем при работе с эмульсиями ЭТ-2 (5%-ная) и Укринол-1 (3%-ная). Испытанные масляные СОТС МР-1у, ОСМ-3 и сульфозфрезол имеют примерно одинаковые технологические свойства в диапазоне скоростей резания 0,5—0,7 м/с. Масло И-12А без присадок, обеспечивающее на скоростях резания 0,5—0,6 м/с равную с другими масляными жидкостями стойкость сверл, на форсированных скоростях (свыше 0,6 м/с) вызывает снижение стойкости до 3 раз. На этих режимах эффективны СОТС, состоящие из 5% МР-99 + И-12А или из 5% МР-8 + И-12А и повышающие стойкость сверл по сравнению с МР-1у до 1,5—2 раз.

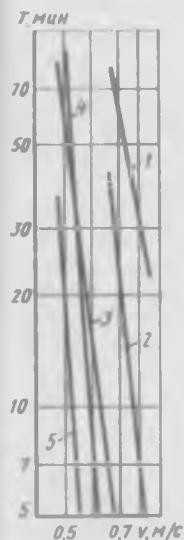


Рис. 22. Зависимость стойкости T сверл из стали Р6М3 от скорости резания V при обработке стали 45 ($\varnothing 10$ мм; $S = 0,8$ мм/об; $l = 20$ мм):
1 — Аквол-2 (5%-ная);
2 — ЭТ-2 (5%-ная);
3 — МР-1; 4 — И-12А;
5 — вакуум

При развертывании отверстий СОТС оказывают большое влияние как на износ и стойкость инструментов, так и на шероховатость и точность обработки.

Зависимость износа от времени работы разверток показывают, что применение водных СОТС приводит к более интенсивному изнашиванию по задним поверхностям, чем при использовании масляных СОТС (рис. 23). Характер изнашивания разверток при работе с масляными и водными СОТС также различен. При работе с масляными СОТС изнашивание по задней и передней поверхности носит ярко выраженный адгезионный характер со следами наволакивания обрабатываемого материала на режущие лезвия разверток, а применение водных СОТС вызывает абразивное изнашивание задней поверхности и ленточек развертки, причем на передней поверхности зубьев образуется лунка. Изнашивание калибрующих ленточек при работе с водными СОТС, приводящее к уменьшению диаметра разверток, является особенно интенсивным при применении 3%-ной эмульсии Укринол-1.

СОТС влияют также на условия размещения стружки в стружечной канавке: при работе с водными СОТС стружка имеет вид спирали с малым радиусом завитывания, а при применении масляных СОТС стружка обламывается короткими участками с большим радиусом завитывания.

Характер изменения шероховатости поверхностей от времени резания при работе со всеми водными СОТС одинаков: на этапе приработки инструмента шероховатость обработанной поверхности несколько худшая

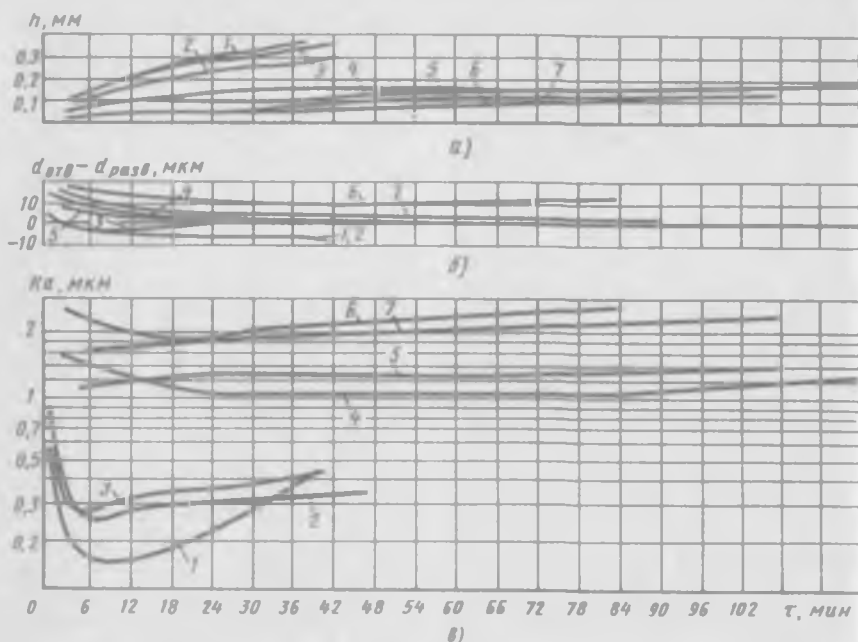


Рис. 23. Влияние СОТС на пикос h разверток из стали Р6М5 (а), разбивку (усадку) $d_{отв} - d_{разб}$ (б) и шероховатость Ra (в) отверстий при обработке стали 45 ($v=0,05$ м/с; $S=0,4$ мм/об; $t=0,1$ мм); 1—ЭТ-2 (5%-ная); 2—Укринол-1 (3%-ная); 3—Аквол-2 (5%-ная); 4—ОСМ-3; 5—МР-1; 6—И-12А; 7—сульфофрезол

($Ra=0,3 \div 0,8$ мкм), чем после приработки на стадии нормального изнашивания ($Ra=0,12 \div 0,4$ мкм) (см. рис. 22). До конца периода стойкости шероховатость оставалась в этих пределах. Шероховатость обработанной поверхности при работе с масляными СОТС в течение периода стойкости разверток меняется незначительно, а по своей величине оказывается в пределах $Ra=2 \div 3$ мкм; только при работе с маловязкой масляной СОТС с присадками ОСМ-3 достигается $Ra=1$ мкм.

В начале резания при работе со всеми видами СОТС наблюдается

разбивка, т. е. увеличение диаметра отверстия по сравнению с диаметром развертки ($d_{отв} > d_{разб}$) до 1—5 мкм с водными СОТС и до 7—16 мкм с масляными. При применении водных СОТС уже после обработки трех—пяти отверстий, когда заканчивается приработка разверток, диаметры отверстий получаются с усадкой, т. е. меньшими, чем диаметр развертки ($d_{отв} < d_{разб}$), с возрастанием усадки в течение периода стойкости от 2—5 до 5—9 мкм. Приработка инструмента при применении масляных СОТС продолжается в течение 20—30 мин и сопровождается лишь уменьше-

нием разбивки до 2—11 мкм, а усадка отверстий для масляных СОТС с присадками (ОСМ-3, сульфозрезол, МР-1у) наблюдается только при значительном затуплении инструмента. При работе с маслом И-12А без присадок усадка вообще не наблюдается.

СОТС не только значительно влияют на средние показатели процесса развертывания, но и изменяют статистические показатели (табл. 12). При применении водных СОТС стабильность процесса развертывания почти на порядок выше, чем при использовании масляных СОТС. Так среднее квадратическое отклонение размеров отверстий оказывается 1,1—1,8 мкм вместо 5—12 мкм при работе с масляными СОТС, поэтому водные СОТС позволяют получать отверстия 7—8-го качества, а масляные СОТС — лишь 9—10-го качества. Таким образом, для достижения высокой точности и низкой шероховатости приходится мириться с малым периодом стойкости по изнашиванию, вплоть до однократного использования разверток. Например, при применении 3%-ной эмульсии Укринол-1 технологический резерв на изнашивание разверток на низких скоростях резания исчерпывается в течение первого периода стойкости. Лучшими технологическими свойствами при обработке стали 45 развертками из стали Р6М5 обладают из испытанных водных СОТС эмульсия Аквол-1 (5%-ная), а из масляных — ОСМ-3. При этом водные СОТС, обеспечивающие более высокое качество обработки ($Ra=0,3\div 1,2$ мкм и 7—8-й качества вместо $Ra=1,5\div 1,6$ мкм и 9—10-го качества при использовании мас-

ляных СОТС), в отличие от масляных СОТС во много раз снижают суммарный период стойкости разверток.

Анализ зависимостей износа по задним поверхностям зубьев разверток, шероховатости и размера отверстий от времени работы при развертывании стали 40Х развертками из стали Р12 показывает, что закономерности изменения этих показателей такие же, как и при развертывании стали 45.

Масляные СОТС могут быть рекомендованы для развертывания по 9-му качеству с шероховатостью $Ra=2,5\div 5$ мкм, а водные СОТС — по 7-му и 8-му качествам с шероховатостью $Ra=1,25\div 2,5$ мкм.

На рис. 24 представлены зависимости шероховатости и размера отверстий от скорости резания для обработки сталей 45 и 40Х развертками из быстрорежущих сталей; они показывают, что увеличение скорости резания приводит к увеличению шероховатости и разбивки отверстий. При этом увеличение шероховатости с возрастанием скорости резания сопровождается значительным снижением износа. Так, в опытах, результаты которых приведены на рис. 25, при увеличении скорости резания от 0,05 до 0,3 м/с шероховатость увеличивается до 2 мкм при применении водных СОТС и четыреххлористого углерода. Зависимости шероховатость поверхности — скорость резания для водных и масляных СОТС в диапазоне скоростей 0,2—0,3 м/с пересекаются. В этом заключен резерв повышения производительности. Например, для обеспечения шероховатости $Ra=1,5$ мкм при работе с масляными СОТС скорость резания должна быть в пре-

12. Влияние СОТС на стойкость разверток из стали Р6М5 при обработке

СОТС	$d_{отв} - d_{разб},$ мм	Дисперсия размера $S_{\Delta\sigma},$ мм	Скорость уменьшения размера $M(v\Delta),$ мм/мин	$Ra_{\Delta},$	Дисперсия шероховатости $S_{Ra_{\Delta}},$
				мм	
Укринол-1 (3%-ная)	-4	1,8	0,2	0,25	0,09
Аквол-2 (5%-ная)	-0,5	1,5	0,015	0,3	0,09
ЭТ-2 (5%-ная)	-5	1,1	0,04	0,15	0,08
И-12А	+15	12	0,05	1,8	0,6
Сульфорезол	+2	9	0,05	1,7	0,7
ОСМ-3	+5	5,3	0,07	1,0	0,15
МР-1у	-1	8,6	0,07	1,15	0,2

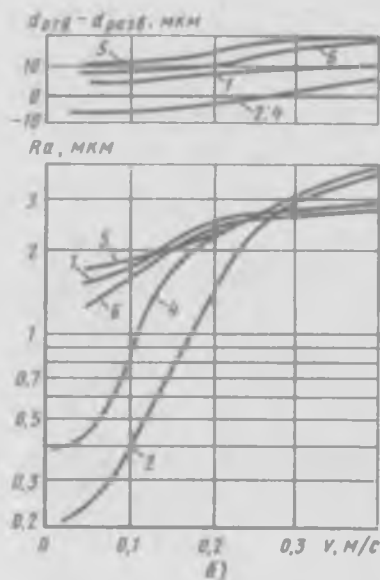
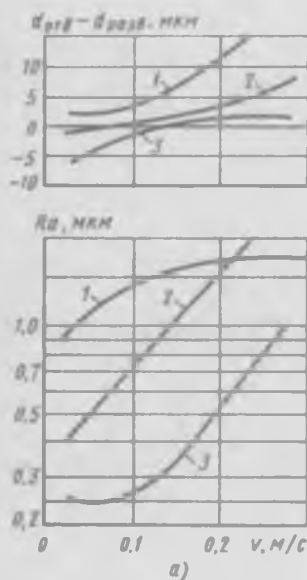


Рис. 24. Влияние скорости резания v на разницу (усадку) $d_{отв} - d_{разб}$ и шероховатость Ra отверстий при обработке стали 40Х (а) развертками из стали Р12 и стали 45 (б) развертками из стали Р6М5 ($S = 0,4$ мм/об, $r = 0,1$ мм); 1—сульфорезол; 2—ЭТ-2 (5%-ная); 3—СС1₄; 4—Укринол-1 (3%-ная); 5—И-12А; 6—ОСМ-3

стали 45 ($v = 0,05$ м/с, $S = 0,4$ мм/об)

Скорость увеличения шероховатости $M(Ra_0)$, мкм/мин	Стойкость, мин, по									
	шероховатости до $[Ra]$, мкм					точности в пределах квалитета				износ $[T_2] = 0,8$ мкм
	0,63	1,25	2,5	5	10	7	8	9	10	
0,0015	81	470	—	—	—	—	20	55	—	3,5
0,003	25	230	—	—	—	500	—	—	—	6,9
0,006	40	140	—	—	—	110	—	—	—	4
0,01	—	—	140	6	—	—	—	—	—	—
				140	640	—	—	—	100	335
0,0055	—	—	—	345	—	—	—	—	520	95
0,002	—	—	510	—	—	—	—	90	460	70
0,0025	—	—	310	—	—	—	—	—	270	80

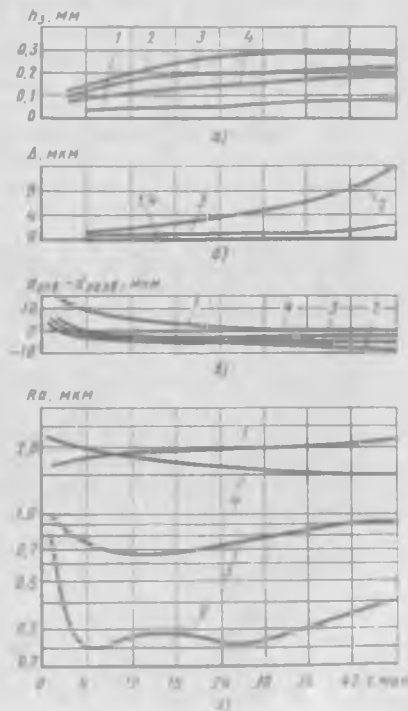
Рис. 25. Зависимость износа h , по задней грани (a) и диаметру (b) Δ разверток из стали Р6М5, радиуски ($у_{\text{св.л.к.и}}$) $d_{\text{св.л.к.и}} - d_{\text{раб.л.к.и}}$ (a) и шероховатости Ra (z) отверстий от времени резания t при обработке стали 45 ($S = 0,4$ мм/об; $t = 0,1$ мм):

1—сульфофрезол; 2—4—Укринол-1 (3%-ная); 1—2— $v = 0,05$ м/с; 3— $v = 0,1$ м/с; 4— $v = 0,13$ м/с

делах $0,05—0,07$ м/с, а с водными— $0,15—0,2$ м/с, т. е. в 3 раза выше.

Для достижения низкой шероховатости необходимо работать на малых скоростях резания и подачах. При этом шероховатость $Ra = 0,60 \div 1,25$ мкм можно получить при достаточно высоких подачах ($0,67—0,8$ мм/об) с сохранением низкого уровня скорости резания.

При развертывании углеродистых сталей большое влияние на параметры процесса оказывает материал инструмента. Сравнение шероховатости обработанной по-



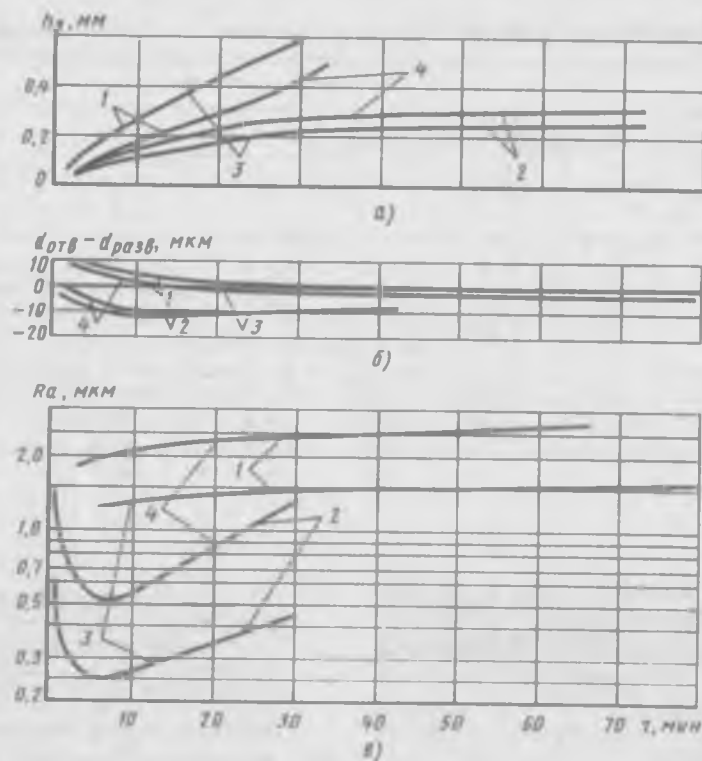


Рис. 26. Зависимость износа h_z по задней грани (а) разверток, рапмивки (усадки) $d_{отв} - d_{разб}$ (б) и шероховатости Ra (в) отверстий от времени резания t при обработке стали 40Х ($v = 0,05 \text{ м/с}$; $S = 0,4 \text{ мм/об}$; $t = 0,1 \text{ мм}$): 1—сульфофрезол; 2—ЭТ-2 (5%-ная); 3—развертки из стали Р6М5; 4—развертки из стали Р12

верхности при использовании разверток из сталей Р6М5 и Р12 показало, что наиболее значительное различие в уровнях шероховатости наблюдается при применении водных СОТС. При этом интенсивность изнашивания разверток из стали Р6М5 при работе с эмульсией в 1,5 раза выше, чем разверток из стали Р12, в то время как при работе с сульфореолом интенсивность изнашивания разверток из стали Р6М5

даже несколько меньше, чем разверток из стали Р12 (рис. 26).

В отличие от развертывания инструментом из быстрорежущих сталей, когда применение водных СОТС вызывает получение отверстий с усадкой, а масляных—с разбивкой, работа твердосплавным инструментом (из ВК6) приводит к получению отверстий с усадкой при применении всех типов СОТС. Одновременно улучшается шероховатость обработан-

ной поверхности: в диапазоне скоростей резания $0,05—0,1 \text{ м/с}$ при работе с водными СОТС $Ra = 0,08—0,75 \text{ мкм}$, а с масляными— $Ra = 0,15—1,2 \text{ мкм}$, в то время как при работе быстрорежущими развертками с водными СОТС $Ra = 0,2—0,8 \text{ мкм}$, а с масляными— $Ra = 1—2,2 \text{ мкм}$. В этом случае при применении водных СОТС может быть достигнуто еще большее увеличение производительности. Так, при обеспечении шероховатости $Ra = 0,3 \text{ мкм}$ Укринол-1 (3%-ная) позволяет увеличить скорость резания до $0,4 \text{ м/с}$, а лучшая масляная СОТС ОСМ-3—всего до $0,08 \text{ м/с}$. Однако смена материала инструмента не отразилась на закономерностях изменения шероховатости в зависимости от вида СОТС: применение масляных СОТС способствует получению большей шероховатости по сравнению с водными для всего исследуемого диапазона скоростей резания. Испытания на стойкость инструмента подтвердили указанные особенности: как и в случае работы с развертками из быстрорежущих сталей, применение водных СОТС приводит к более интенсивному изнашиванию инструментов.

При резьбонарезании более эффективны масляные СОТС с присадками, особенно высококонцентрированные растворы МР-99 (до 20—50% в маслах И-12А и И-20А), позволяющие обеспечить высокое качество резьбы и стойкость инструментов. Высокое качество резьбы и стойкость инструментов и заменить применение в ряде случаев СОТС, содержащие олеиновую кислоту. Высококонцентрированные растворы МР-99 могут быть реко-

мендованы для применения на резьбонарезных станках и при слесарной обработке.

При нарезании резьбы на токарных автоматах масляные СОТС со средним количеством присадок типа МР-1у и ОСМ-5 увеличивают в 1,25—1,5 раза стойкость метчиков и плашек по сравнению с резанием с сульфореолом. Однако при нарезании резьбы в глубоких отверстиях по вязким сталям эти СОТС уступают сульфореолу, предположительно ввиду большей текучести и худшего удержания на инструменте. В этих случаях для резьбонарезания можно рекомендовать СОТС МР-7 или добавку в МР-1у присадки МР-99 (5—10%), а также более высокие по концентрации (до 20%) растворы МР-99 в масле или И-20А.

При нарезании на агрегатных станках, автоматических линиях и станках с ЧПУ могут быть рекомендованы эмульсии типа Укринол-1 и Аквол-6 повышенной концентрации (10%). По сравнению с эмульсиями типа ЭГТ и ЭТ-2 эти эмульсии позволяют достигать увеличения стойкости инструментов в 1,5—2 раза.

При фрезеровании степень влияния различных СОТС на изнашивание в период стойкости инструментов из быстрорежущей стали уменьшается по сравнению с другими операциями резания.

Испытания, проведенные при дисковом фрезеровании стали 45 фрезами из быстрорежущей стали Р6М5, показали, что при скорости резания $1,6 \text{ м/с}$ технологический эффект от использования водных и масляных СОТС практически одинаков, причем период стойкости инструмента увеличивается в 2,7 раза по сравнению с реза-

нием без СОТС на воздухе. Влияние различных водных и масляных СОТС с противозносными присадками на период стойкости фрез практически одинаково: он составляет 100—160 мин, а масла И-12А и веретенное АУ без присадок несколько увеличивают период стойкости до 180—200 мин.

Период стойкости фрез при применении водных СОТС с увеличением скорости резания до 2,6 м/с уменьшается почти в 12 раз, а при применении масляных СОТС—только в 6 раз. В области высоких скоростей резания предпочтительно применять масляные СОТС с присадками. Наилучшими из водных СОТС оказались Укринол-1 и Аквол-10М, а из масляных—МР-1у и МР-4. Сульфозфрезол имеет наиболее низкие технологические свойства. Период стойкости при фрезеровании без СОТС на воздухе с этим режимом становится очень низким: зубья фрезы на первой же минуте резания катастрофически изнашиваются по вершине.

Оптимальная концентрация эмульсий и масляных СОТС зависит от скорости резания: если при скорости 1,6 м/с введение МР-1у в качестве присадки в масле И-12А снижает период стойкости фрез, то при скорости 2,6 м/с—повышает, хотя оптимальная добавка составляет всего 5%. Аналогично при работе с эмульсиями Укринол-1 оптимальная концентрация при возрастании скорости резания увеличивается с 3 до 10%.

Допустимый износ фрез, превышение которого приводит к катастрофическому нарастанию износа, также зависит от применяемой СОТС. При фрезеровании без СОТС на воздухе ($v=1,6$ м/с) средний допустимый износ фрез

по уголкам не превышает 0,3 мм (часто разрушение начиналось и при износе 0,25 мм), а с водными СОТС он составляет 0,35—0,4 мм. С применением масляных СОТС фрезы сохраняют режущие свойства при износе по главной задней грани, равном 0,4—0,5 мм, а при работе с СОТС МР-4—0,8—0,9 мм. С повышением скорости резания до 2,6 м/с допустимый износ уменьшается при работе со всеми видами СОТС. Износ, соответствующий окончанию периода приработки, при резании с водными СОТС в 1,5—2 раза выше, чем при работе с маслами, причем с увеличением скорости резания он уменьшается.

При чистовой обработке с подачей 0,05 мм/зуб относительное влияние водных и масляных СОТС на стойкость фрез остается тем же, что и при подаче 0,1 мм/зуб. При переходе в область более напряженных условий резания, характерных для черновых процессов фрезерования (увеличение подачи до 0,18 мм/зуб), повышается относительная эффективность СОТС типа МР-1, а водных СОТС—снижается (рис. 27).

На операциях фрезерования как фрезами из быстрорежущих сталей, так и твердосплавными эффективно применение СОТС в распыленном состоянии, повышающее стойкость фрез в 1,5—3 раза по сравнению с резанием без СОТС на воздухе, а в ряде случаев—и с поливом СОТС.

При зубонарезании с применением СОТС проявляются в принципе те же закономерности, что и выявленные на операциях фрезерования: при резании на средних и пониженных скоростях эффективны масляные СОТС без

13. Рекомендации по применению СОТС при обработке углеродистых и легированных сталей

Описание	СОТС		Достижимый коэффициент изменения стойкости инструмента	Примечание
	рекомендуемая	заменитель		
Точение: твердосплавными резцами	Угирол-1 (3—5%-ная) Аксол-2 (7%-ная) Аксол-6 (5%-ная) ЛЗ-СОЖ 2 СНО	ЭГТ (5%-ная) ЭГТ (7%-ная) ЭГТ (5%-ная) —	2 1,5 2,5	—
	Аксол-11 (3%-ная)	ЭГТ-2 (5%-ная)	1,2	Обработка на токарных автоматах
	Угирол-1 (3%-ная) Аксол-2 (5%-ная)	ЭГТ-2 (5%-ная)	1,5	
резцами из быстроре- жущих сталей	Аксол-6 (5%-ная) 10% МР-99 + И-12А 5% МР-99 + И-12А МР-1у, МР-7	ЭГТ (5%-ная) Сульфидфрезол	2,5 2,5 ($v > 0,5$ м/с) 1,5 ($v < 0,5$ м/с) 2 ($v \geq 0,5$ м/с)	
	25% МР-1у + И-12А ОСМ-3	И-12А	1,8 ($v < 0,5$ м/с) 3 ($v < 0,5$ м/с)	

Операция	СОТС		Достижимый коэффициент изменения стойкости инструмента	Примечание
	рекомендуемая	заменяемая		
резцами из быстрорежущих сталей	10% МР-8 + И-12А МР-9	МР-1У	2 ($v > 0,7$ м/с) 3 ($v > 0,5$ м/с)	
Прорезка твердосплавными резцами Отрезка резцами из быстрорежущих сталей	Укринол-1 (3—5%-ная)	ЭГТ (5%-ная)	2	
	Аквол-2 (5%-ная)	ЭТ-2 (5%-ная)	1,7	
	Укринол-1 (3%-ная) МР-1у	Сульфифрезол	1 ($v \geq 0,7$ м/с; $S \geq 0,06$ мм/об)	
	И-12А, ОСМ-3		1,5 ($v < 0,7$ м/с; $S < 0,06$ мм/об)	
	25% МР-1у + И-12А	И-12А	2,5 ($v < 0,7$ м/с; $S < 0,06$ мм/об)	
Сверление сверлами из быстрорежущих сталей	Укринол-1 (3%-ная), СДМУ-2 (10%-ная)	ЭТ-2 (5%-ная)	1,5	
	Аквол-2 (5%-ная), Аквол-6 (5%-ная)	ЭГТ (5%-ная)	2,5	
	Аквол-10 (5%-ная) МР-1у	ЭТ-2 (5%-ная)	3	
		Сульфифрезол	1,5 ($v \geq 0,5$ м/с)	

	25% МР-1у + И-12А	И-12А	2 ($v < 0,5$ м/с)	—
	10% МР-99 + И-12А	Сульфифрезол	2,0 ($v > 0,5$ м/с)	
	10% МР-8 + И-12А	10% МР-99 + И-12А	1,5 ($v > 0,5$ м/с)	
	ОСМ-3, И-12А 5% МР-99 + И-12А	Сульфифрезол	3 ($v < 0,5$ м/с)	
	ЛЗ-СОЖ 2СИО	—	—	Опыт ВАЗа
Глубокое сверление	ОСМ-3, МР-1у		1,2	—
Развертывание: твердосплавными развертками	МР-1у, ОСМ-3	Сульфифрезол		$Ra = 0,32 \div 0,63$ мкм вместо $Ra = 0,63 \div 1,25$ мкм или при $Ra = 0,63 \div 1,25$ мкм повышение скорости резания в 2,5 раза
развертками из быстрорежущих сталей	Укринол-1 (5%-ная)	ЭТ-2 (5%-ная)		$Ra = 0,16 \div 0,32$ мкм ($v = 0,05$ м/с); $Ra = 0,63 \div 1,25$ мкм ($v = 0,1$ м/с); $Ra = 1,25 \div 2,5$ мкм ($v = 0,13$ м/с) вместо $Ra = 1,25 \div 2,5$ мкм ($v = 0,05$ м/с)

Операция	СОТС		Достижимый коэффициент изменения стойкости инструмента	Примечание
	рекомендуемая	заменяемая		
развертками из быстрорежущих сталей	ОСМ-3 МР-1у, ОСМ-5	Сульфозрезол	1,5	$Ra = 0,63 \div 1,25$ мкм вместо $Ra = 1,25 \div 2,5$ мкм ($v = 0,05$ м/с) $Ra = 1,2 \div 2,5$ мкм ($v = 0,05$ м/с)
Резьбонарезание метчиками из быстрорежущих сталей	Укринол-1 (3—8%-ная)	ЭТ-2 (5%-ная)	1,5	—
	Аквол-10 (5%-ная)	ЭТ-2 (5%-ная)	2	
	МР-7 10—50% МР-99+И-12А	Сульфозрезол МР-1у	1,2 2	
	ЛЗ-СОЖ 2 СИО	—	—	Опыт ВАЗа
Фрезерование дисковыми фрезами из быстрорежущих сталей	Укринол-1 (3%-ная) И-12А	ЭТ-2 (5%-ная) Сульфозрезол	1,5 2 ($v \leq 1,7$ м/с; $S_z \leq 0,1$ мм/зуб)	—
Протягивание протяжками из быстрорежущих сталей	Укринол-1 (5—10%-ная)	ЭТ-2 (5—10%-ная), ЭГТ ЭГТ (10—15%-ная)	1,4	$Ra = 0,63 \div 1,25$ мкм вместо $Ra = 1,25 \div 2,5$ мкм

Зубофрезерование	МР-1у	Сульфозрезол	5	$Ra = 1,0 \div 0,2$ мкм (длина обработки $l \leq 30$ мм, HRC ₂ ≥ 20)
	ЛЗ-СОЖ 2СО		—	Опыт ВАЗа
	ОСМ-3, МР-1у, И-20А		($v \leq 20,6$ м/с)	—
	ЛЗ-СОЖ 2СО		—	Опыт ВАЗа
Зубодолбление	ОСМ-3, И-12А МР-3 МР-1у	—	2 1,7 1,2	—
	ЛЗ-СОЖ 2СО		—	Опыт ВАЗа
Зубошвингование	МР-4, МР-1у, ОСМ-5	И-12А	1,5	$Ra = 0,63 \div 1,25$ мкм

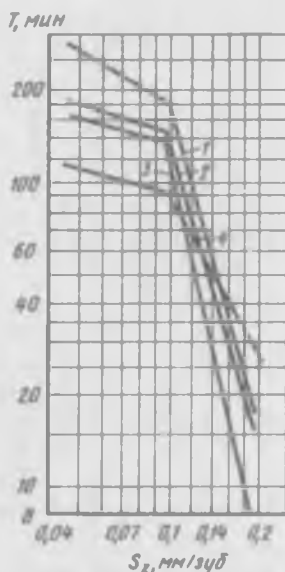


Рис. 27. Зависимость стойкости T фрез из стали Р6М5 от шага S_z при обработке стали 45 ($v=1,6$ м/с; $t=5$ мм): 1—И-12А; 2—ЭТ-2 (5%-ная); 3—Укринол-1 (3%-ная); 4—МР-1

присадок или с малым количеством присадок (типа ОСМ-3 или И-12А), а на повышенных—масляные СОТС с присадками или эмульсии.

При протягивании эффективны масляные СОТС с присадками (типа МР-1у, МР-7, МР-99) и водные СОТС (5—10%-ные эмульсии типа Укринол-1 и Аквол-6), повышающие период стойкости инструментов и улучшающие качество обработанной поверхности.

Данные о технологических свойствах СОТС и рекомендации по их применению при обработке углеродистых и легированных сталей, составленные на основании результатов стендовых и экс-

плуатационных испытаний, а также реального опыта их эксплуатации, приведены в табл. 13.

5. СОТС ДЛЯ ОБРАБОТКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Основная цель при выборе СОЖ для обработки алюминиевых сплавов заключается в уменьшении шероховатости обработанной поверхности, уровень которой чаще всего ввиду специфики сплавов носит неустойчивый, нестабильный характер. Особенностью алюминиевых сплавов является их повышенная склонность к фрикционному переносу обрабатываемого металла на лезвие инструмента, что приводит к образованию нестабильного нароста, весьма сильно влияющего на качество обработанной поверхности (рис. 28).

Нестабильность стружко- и формообразования, связанная с отрицательным действием нароста, свойственна алюминиевым сплавам по трем причинам. Первая причина—особая роль фактора упрочнения при деформировании, присущая всем «мягким» сплавам. При равных модулях деформационного упрочнения соотношение механической прочности деформированного и недеформированного сплавов для мягких сплавов выше, что отрицательно влияет на угол сдвига и интенсифицирует перенос обрабатываемого металла. Вторая причина—высокая теплопроводность алюминиевых сплавов, что сглаживает зависимость температуры резания от скорости резания и способствует расширению диапазона режима, в котором существует нарост. Третья причина—аномально вы-



Рис. 28. Корень стружки с иростом, характерный для обработки литежных алюминиевых сплавов (А.12, А.14, А.19 и т. д.) при скорости 0,2—1,1 м/с

сокое соотношение механических свойств слоев окислов алюминия и алюминиевого сплава, что обуславливает отрицательный градиент механических свойств по глубине в контактной зоне при резании в среде, содержащей окислитель.

Естественно, что при таких исходных посылках представляется трудным выйти за пределы наростообразования скоростным фактором, а потому в этом случае особое значение придается применению предварительной термической или деформирующей упрочняющей обработки алюминиевых сплавов, а также применению СОТС, содержащих зачастую повышенные концентрации вредных для здоровья человека компонентов, либо не отвечающих противопожарным нормам (присадки с хлором, фосфором, СОЖ на базе керосина, четыреххлористый углерод).

Борьба за экологию, многократно усилившаяся в последние годы, требует от металлообрабатывающего производства применения новых товарных СОТС, хотя и уступающих по технологическим свойствам приведенным выше средствам, особенно орга-

ническим растворителям, но удовлетворяющих санитарно-гигиеническим нормам.

В табл. 14 приведены составы СОТС промышленного производства на водной и масляной основе, рекомендуемые на разных операциях резания алюминиевых сплавов. При использовании СОТС на водной основе высоких требований к качеству обработанной поверхности обычно не предъявляют. При ужесточении требований к качеству обработанной поверхности рекомендуется увеличивать концентрацию эмульсий или применять маловязкие масла (ОСМ-3, ВИ-4 и др.). На операциях резьбонарезания и развертывания, как на окончательных операциях обработки отверстий, требующего эффекта от использования рекомендуемых водных СОТС добиваются вследствие уменьшения элементов режима резания при одновременном повышении содержания концентрата до 8—20%.

В результате проведенных исследований по обработке деформируемых сплавов АМЦ и АМг-2 было определено, что общая схема зависимости шероховатости Ra от скорости v , полученная

14. Рекомендации по применению СОТС при лезвийной обработке алюминиевых сплавов

Операция	СОТС		Достижимая шероховатость обработанной поверхности R_a , мкм
	рекомендуемая	заменяемая	
Точение, растачивание, отрезка резцами из быстрорежущих сталей	Укринол-1 (3—8%-ная) Уверол (5—8%-ная) Аквол-11 (3—5%-ная) Синтал-2 (3—5%-ная) Аквол-18 (3—8%-ная) ОСМ-5, МР-9	ЭТ-2, ЭГТ, МОТ-2	
		МОТ-2	
		Сульфифрезол	
Сверление сплава: деформируемого литейного	Укринол-1 (8—16%-ная) Аквол-11 (10%-ная) Уверол (6—8%-ная) Аквол-18 (10—12%-ная) Синтал-2 (12—20%-ная) ОСМ-5	ЭГТ	2,5
		Керосино-масляная смесь	
Фрезерование концевыми фрезами из быстрорежущей стали	Укринол-1 (3—5%-ная) Аквол-6 (3—5%-ная) Синтал-2 (5—10%-ная) Прогресс-13 (12—15%-ная)	ЭГТ	
Резьбонарезание сплава: деформируемого литейного	Укринол-1 (20%-ная) Синтал-2 (10—20%-ная) Аквол-18 (8—10%-ная) ОСМ-5	ЭГТ, ЭТ-2, МОТ-2	1,25
		Сульфифрезол	
	Укринол-1 (5—10%-ная) Аквол-6 (15%-ная) Синтал-2 (15%-ная) ОСМ-5, ВИ-4	ЭГТ, ЭГ-2	1,25—2,5
		Сульфифрезол	

Продолжение табл. 14

Операция	СОТС		Достижимая шероховатость обработанной поверхности Ra , мкм
	рекомендуемая	заменяемая	
Развертывание: развертками из быстрорежущей стали	ОСМ-5, МР-2у, Укринол-1 (5—10%-ная) Аквол-6 (5—8%-ная) Синтал-2М (6—12%-ная) Аквол-18 (8—10%-ная)	Керосино-масляная смесь	1,25
развертками из твердого сплава	Укринол-1 (14—16%-ный) Аквол-6 (8—15%-ная) Синтал-2М (12—20%-ная) Аквол-18 (10—15%-ный)	ЭГТ, ЭГ-2	0,63—1,25

для конструкционных и коррозионно-стойких сталей (см. рис. 2, а), подтверждается и для алюминиевых сплавов (рис. 29). В табл. 15 приведены основные параметры полученных зависимостей. Определение скорости v_1 для воздуха и v_2 для всех сред ограничено технологическими возможностями оборудования.

Наблюдения позволили констатировать стабилизацию без видимых причин неустойчивости контактных и деформационных процессов, что приводит к изменению характера стружкообразования от элементного к сливному и одновременно уменьшению шероховатости обработанной поверхности вплоть до уровня A_v . Процесс

15. Влияние СОТС на основные характеристики зависимости шероховатости Ra от скорости v при точении алюминиевого сплава АМг2 ($S=0,075$ мм/об, $r_e=0,8$ мм, $\varphi=45^\circ$, $\varphi'=15^\circ$, $\alpha=6^\circ$, $Ra_{\text{песк}}=0,19$ мкм)

СОТС	$\gamma=0$, $A_v=0,88$ мкм				$\gamma=24^\circ$, $A_v=0,67$ мкм			
	v_1 , м/с	v_2 , м/с	Ra_{max} , мкм	v_0^* , м/с	v_1 , м/с	v_0^* , м	Ra_{max} , мкм	v_0^* , м/с
Вакуум	—	0,42	20	8,2	—	0,55	7,8	12
Воздух	—	0,6	17		—	0,83	6,2	
Аквол-11 (20%-ная)	0,01	2,0	4,5		0,83	4,0	1,6	
Синтал-2М (20%-ная)	0,023	3,0	4,9		0,10	5,3	1,8	
Аквол-6 (10%-ная)	0,1	3,2	4,4		0,12	6,2	1,58	
Вода	0,03	3,3	5,6		0,15	8,0	1,65	

** Для одноэкстремальной зависимости.

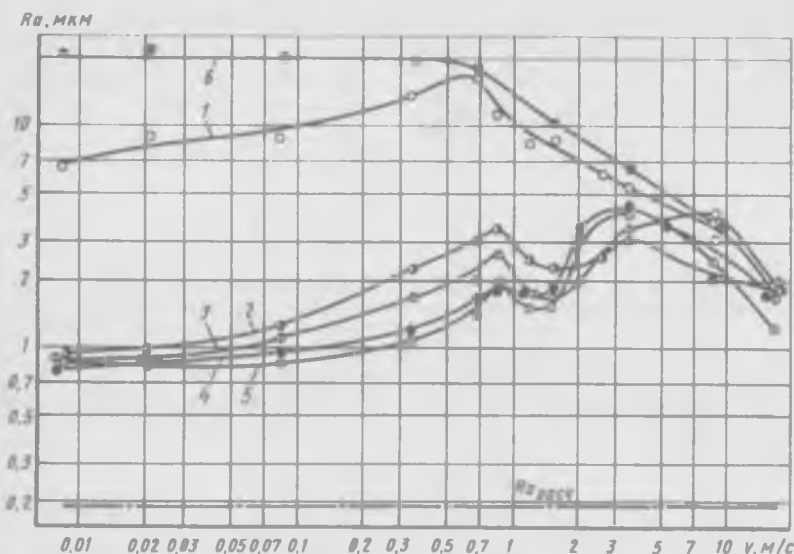


Рис. 29. Влияние скорости резания v и СОТС на шероховатость Ra при точении сплава АМг 2 ($S=0,075$ мм/мин $r_0=0,8$ мм): 1—воздух; 2—Аква-11 (20%-ный); 3—Синтал-2М (20%-ный); 4—вода; 5—Аква-6 (10%-ный); 6—вакуум 0,5 МПа

перехода от нестабильного к стабильному наростообразованию происходит достаточно быстро и занимает 0,5—1,5 м пути резания, что соответствует при $v=0,1$ м/мин одному-трем оборотам. Это приводит к образованию на обработанной поверхности определенной ступеньки (рис. 30). При этом увеличение переднего угла γ существенно снижает не только шероховатость обработанной поверхности, но и уменьшает высоту ступеньки на обработанной поверхности.

Тенденция стабилизации нароста проявляется и в зоне экстремума зависимости $Ra-v$, значительно снижая шероховатость Ra_{max} , вследствие чего одноэкстремальная колоколообразная за-

висимость преобразуется в трехэкстремальную с локальным минимумом.

При обработке литейного сплава АЛ4 были обнаружены отсутствие тенденции перехода от нестабильного к стабильному наростообразованию и увеличение в связи с этим в 2—2,5 раза шероховатости поверхности, хотя ранжирование СОЖ по влиянию на шероховатость сохраняется. Дополнительное осложнение процесса стружкообразования на операции поперечного точения отрезным резцом с образованием канавки приводит к увеличению составляющих P_x и P_y силы резания согласно ранжированию СОТС по степени влияния на шероховатость. Так, при

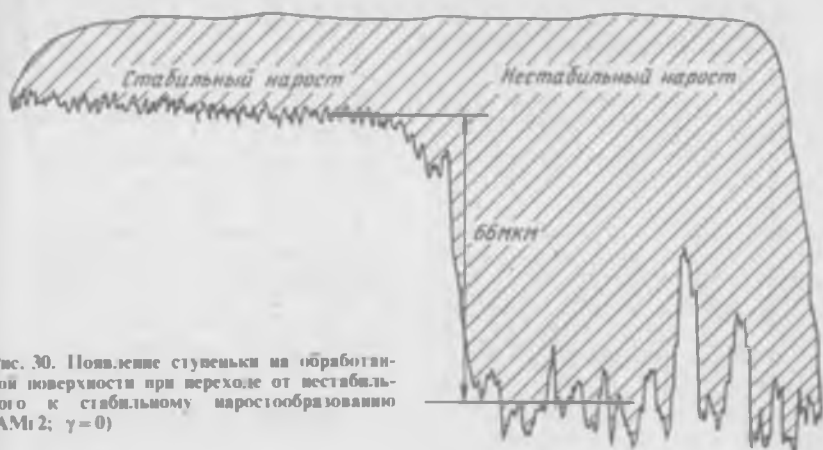


Рис. 30. Появление ступеньки на обработанной поверхности при переходе от неустойчивого к устойчивому нарастанию (АМг 2; $\gamma = 0$)

$v = 0,88$ м/с наибольшие значения силы резания и шероховатости наблюдались для Аквола-11 (20%-ный), а наименьшие — для Аквола-6 (10%-ный). При $v = 2,2$ м/с различие между СОТС существенно нивелируется.

Таким образом, при обработке алюминиевых сплавов полному раскрытию эффектов СОЖ и достижению предельного уровня шероховатости препятствуют дестабилизирующие процессы накопления деформации, вторичного

16. Коэффициенты для уравнения аппроксимации экспериментальных зависимостей уравнения (1)

СОТС	Ra_1	Ra_2	ψ_1	v_2	m_1	m_2	n_1	n_2
$\gamma = 0, A_1 = 0,88$ мкм								
Аквол-6	4,515	1,829	2,114	1,395	2,077	1,2	5,36	2,944
Синтал-2	9,088	5,717	2,707	1,779	1,653	1,488	3,38	1,836
Аквол-11	6,349	4,1	1,285	1,45	1,885	1,176	3,06	2,533
Вода	4,939	2,187	2,191	1,52	1,538	1,088	2,96	3,22
$\gamma = 24, A_p = 0,67$ мкм								
Воздух	5,447	3,15	2,045	2,03	0,208	1,208	3,52	4,55
Аквол-6	1,516	0,47	4,346	1,583	0,75	1,33	2,12	5,8
Синтал-2	1,584	0,49	4,688	2,038	0,786	2,44	1,43	5,35
Аквол-11	1,524	0,573	7,934	1,98	0,529	2,54	2,92	5,53
Вода	1,53	0,069	12,276	2,651	0,69	3,488	2,988	3,6

Примечание. Точность аппроксимации экспериментальных зависимостей не превышает 15%.

контакта стружки на зону резания, не позволяющие сформировать при выбранных условиях резания стабильный фрикционный контакт. При этом физико-механические свойства алюминиевых сплавов начинают оказывать решающее воздействие на формирование фрикционного контакта по сравнению с физико-химическими свойствами среды.

Для возможности использования полученных зависимостей в САПР технологических процессов полученные экспериментальные зависимости были аппроксимированы математическими зависимостями, общий вид которых:

$$Ra = \frac{2(Ra_1 - A_r)}{\left(\frac{v}{v_1}\right)^{m_1} + \left(\frac{v_1}{v}\right)^{m_2}} - \frac{2Ra_2}{\left(\frac{v}{v_2}\right)^{n_1} + \left(\frac{v_2}{v}\right)^{n_2}} + A_r. \quad (1)$$

Показатели, входящие в эту формулу, приведены в табл. 16.

Список литературы

1. Аксенов А. Ф. Трение и изнашивание металлов в углеводородных жидкостях. М.: Машиностроение, 1977. 149 с.
2. Кацев П. Г. Статистические методы исследования режущего инструмента. М.: Машиностроение, 1974. 239 с.
3. Латышев В. Н. Повышение эффективности СОЖ. М.: Машиностроение, 1975. 89 с.
4. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / Под ред. Э. К. Лецкого. М.: Мир, 1977. 552 с.
5. Поверхностная прочность материалов при трении / Под ред. Б. Н. Котельского. Киев: Техника, 1976. 296 с.
6. Резников А. Н. Теплофизика процессов механической обработки. М.: Машиностроение, 1981. 288 с.
7. Серов В. А., Дорфман С. Б., Максимова А. И. Универсальные концентраты присадок для смазочно-охлаждающих жидкостей // Вестник машиностроения. 1982, № 1, С. 52—53.
8. Ташлицкий Н. И., Куцева М. Е. Рациональное применение смазочно-охлаждающих сред при обработке сталей лезвийным инструментом // Вестник машиностроения. 1976. № 18. С. 73—75.
9. Технологические свойства новых СОЖ для обработки резанием / Под ред. М. И. Клушина. М.: Машиностроение, 1979. 192 с.
10. Трейт Е. М. Резание металлов / Пер. с англ. М.: Машиностроение, 1980. 263 с.

И. Аксенов А. Ф. Трение и изнашивание металлов в углеводородных

Глава VI. СОТС ДЛЯ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОЛУПРОВОДНИКОВ

1. СОТС ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОРРОЗИОННО- СТОЙКИХ СТАЛЕЙ

Коррозионно-стойкими сталями принято называть материалы на основе железа, обладающие способностью противостоять электрохимической коррозии. Как правило, таким свойством обладают стали с содержанием Cr более 12%. По структуре, физико-механическим свойствам и обрабатываемости резанием все коррозионно-стойкие стали можно разделить на две группы:

хромистые и сложнелегированные стали мартенситно-ферритного и мартенситного классов марок 20X13, 30X13, 40X13, 25X13H2, 15X12ВНМФ, 09X16H4Б и др.;

жаростойкие хромоникелевые стали аустенитного класса марок 12X18H10T, 12X23H18, 08X18H10T и др.

Стали первой группы в основном применяют для изготовления деталей, к которым предъявляются требования коррозионной стойкости при повышенной прочности. Коррозионно-стойкие стали аустенитного класса широко используют почти во всех отрас-

лях промышленности для изготовления деталей сварной аппаратуры, компрессоров, деталей химического оборудования, приборов, работающих в агрессивной среде, а также при повышенных температурах.

Обрабатываемость резанием сталей мартенситно-ферритного и мартенситного классов в отожженном состоянии незначительно отличается от обрабатываемости углеродистых и низколегированных сталей. В упрочненном состоянии ($\sigma_s = 1000 \div 1700$ МПа) эти стали сходны по обрабатываемости с высокопрочными сталями. Термическая обработка коррозионно-стойких сталей аустенитного класса незначительно изменяет их обрабатываемость резанием.

При обработке мягких коррозионно-стойких сталей в большинстве случаев превалирующим видом изнашивания является адгезионно-усталостный. Для подавления этого вида изнашивания необходимо применять СОТС с высокими смазывающими свойствами. Вследствие меньшей реакционной способности хромоникелевых сталей более высокие результаты при их обработке показывают СОТС с высокой концентрацией противозадирных и противозносных присадок.

В табл. 1 приведены результаты лабораторных и производственных испытаний ряда новых масляных и водных СОТС, а также газообразных СОТС (O_2 и CO_2) при обработке резанием коррозионно-стойких сталей. В качестве показателей, характеризующих технологические свойства СОТС, приняты коэффициенты K_T и K_R — изменения стойкости режущих инструментов и снижения высоты микронеровностей обработанной поверхности. Значения коэффициентов K_T и K_R , большие единицы, соответствуют увеличению стойкости режущих инструментов и снижению высоты микронеровностей. Коэффициент

$$K_T = \frac{T_1}{T_2},$$

где T_1 и T_2 — средняя стойкость инструмента при работе соответственно с новой и заменяемой СОТС.

Коэффициент

$$K_R = \frac{Ra}{Ra'} \quad \text{или} \quad K_R = \frac{Rz}{Rz'},$$

где Ra , Ra' — среднее арифметическое отклонение профиля обработанной поверхности соответственно при работе с заменяемым и новым СОТС; Rz , Rz' — высота неровностей профиля обработанной поверхности при работе соответственно с заменяемым и новым СОТС.

Как следует из табл. 1, на операциях продольного точения и подрезки торцов деталей из стали 12Х18Н10Т различные по химическому составу и агрегатному состоянию СОТС показывают близкие результаты ($K_T = 1,1 \div 1,3$). Большое влияние на стойкость инструмента оказы-

вают СОТС с противозносными присадками при отрезке коррозионно-стойких сталей ($K_T = 1,4 \div 1,5$).

Применение газовых СОТС (CO_2 , O_2) при токарной обработке коррозионно-стойких сталей повышает стойкость резцов в 1,4—1,5 раза по сравнению с резанием в среде товарной эмульсии. В связи с тем что подобный результат может быть достигнут более простыми средствами (например, использованием жидкостей с противозносными присадками), СОТС в газообразном состоянии практически не применяются на промышленных предприятиях при обработке резанием коррозионно-стойких сталей.

При сверлении отверстий малого диаметра спиральными сверлами применение эмульсионных СОТС с противозносными присадками (МХО-64а, Аквол-6) вместо эмульсий типа ЭГТ, не имеющих противозносных присадок, обеспечивает повышение стойкости сверл в 2—3 раза. Наибольшей эффективностью обладают масляные СОТС со средним и большим содержанием противозносных присадок: МР-1у, МР-3, МР-99. При увеличении диаметра сверл более 6 мм целесообразно применение водных СОТС.

Особенностью операции сверления является затруднительный доступ СОТС в зону резания. Поэтому способ подвода СОТС оказывает большое влияние на технологические показатели процесса.

На станках с горизонтальным расположением оси сверла (токарно-винторезных, токарно-револьверных, агрегатных и т. д.) целесообразно подводить жидкость по специальным каналам в инстру-

1. Влияние СОТС на стойкость режущего инструмента и шероховатость поверхности при обработке коррозионно-стойких сталей

Операция	Марка обрабатываемого материала	Инструмент	СОТС		K_r	K_f
			заменяемые (устаревшие)	новые		
Продольное точение		Резец проходной из: T15K6	ЭТ-2 (3 %-ная)	Укриол-1 (3 %-ная)	1,2	1,2
				Аквол-10М (3 %-ная)	1,1	1,0
				Аквол-11 (5 %-ная)	1,2	1,2
				Аквол-6 (5 %-ная)	1,3	1,4
				Карбамол-Э1 (3 %-ная)	1,3	1,1
Подрезка торца	12Х18Н10Т	ВК8	Э-2 (3 %-ная)	СО ₂ (p=0,2 МПа)	1,4	—
				О ₂ (40 л/мин)	1,5	—
				Укриол-1 (3 %-ная)	1,1	1,0
				Аквол-11 (3 %-ная)	1,2	1,4
Отрезка	09Х16Н4Б (35 НRC,)	отрезной из TSK10	Сульфидфрезол	МР-1у	1,1	1,4
				МР-6	1,0	1,6
				50% МР-6 + И-20А	1,1	1,2
				Укриол-1 (3 %-ная)	1,3	—
			ЭГТ (3 %-ная)	Аквол-6 (5 %-ная)	1,5	—
			Сульфидфрезол	МР-1у	1,2	—

Операция	Марка обрабатываемого материала	Инструмент	СОТС		K _T	K _с
			замесяемые (устаревшие)	новые		
Сверление на глубину, мм: 10	12X18H10T	Сверло из: Р6М5 Ø5 мм	ЭГТ (3 %-ная)	Укринол-1 (5 %-ная)	1,4	
				Аквол-11 (3 %-ная)	1,6	
Аквол-6 (5 %-ная)		2,0				
Аквол-6 (10 %-ная)		3,0				
МХО-64а (6 %-ная)		2,2				
Сульфокрезол		МР-1у	1,5			
	МР-2у	0,6				
8		Р9К5 Ø10 мм	Сульфокрезол	МР-3	1,6	
				50% МР-5у + И-20А	0,7	
		Р18 Ø2 мм	Э-2 (10 %-ная)	МР-6	1,2	
				МР-7	1,2	
				50% МР-99 + И-20А	1,2	
				И-20А	0,1	
Сульфокрезол	МР-2у	1,8				
	ЭТ-2	1,6				
	Аквол-2 (10 %-ная)	1,8				
		Аквол-6 (10 %-ная)	2,0			
			Олеиновая кислота	4,5		
			МР-99	6,5		
			70% хлорпарафина +	8,0		
			+ 15% воск + 15% порошок сплава Вуда			

Глубокое сверле- (на глубину 1000— —1400 мм)	08X18H10T	Сверло из ВК8: Ø23 мм Ø30 мм Ø37,5 мм	Сульфокрезол	ОСМ-3 МР-1у МР-3	0,5 1,5 1,6	Снижение увода сверла в 2 раза
				МР-7 МР-1у МР-3	1,6 2,0 2,5	Снижение увода сверла в 1,5 раза
				МР-1у МР-3	2,5 3,0	Снижение увода сверла в 1,6 раза
Развертывание	12X18H10T	Развертка из: Р18 Ø6 мм Р6М5 Ø10 мм	Сульфокрезол	МР-1у МР-3 Олеиновая кислота Укринол-1 (10 %-ная)	1,2 1,4 1,4 0,8	1,0 1,2 1,2 0,6
				Скипидар МР-99	2,0	1,6
			ЭГТ (5 %-ная)	МР-1у	1,8	2,0
Нарезание резьбы	12X18H10T	Метчик М6×1 из Р6М5	Сульфокрезол	МР-1у МР-3 МР-6 МР-7 МР-5у Аквол-6 (5 %-ная) Аквол-6 (10 %-ная) Хлорпарафин	1,2 1,2 1,0 1,6 1,0 0,5 1,0 1,6	1,4 1,4 1,5 1,0 1,0 0,8 1,0 1,5

Продолжение табл. 1

Операция	Марка обрабатываемого материала	Инструмент	СОТС		K _T	K _B
			заменяемые (устаревшие)	новые		
Нарезание резьбы	12X18H10T	Метчик М6 х 1 из Р6М5	Касторовое масло	MP-99	2,0	2,0
				Укринол-1 (3 %-ная) Карбамол-Э1 (3 %-ная) Аквапол-1 (3 %-ная) Аквол-6 (3 %-ная) Аквол-6 (10 %-ная)	1,5 1,6 2,0 1,8 2,2	1,0 1,0 1,4 1,5 1,8
Фрезерование уступов	12X18H10T	Фреза концевая из: Р6М5 Ø8 мм	ЭГТ (3 %-ная)	Укринол-1 (3 %-ная) Аквол-6 (5 %-ная) MP-1y	1,0 1,1 1,2	1,0 1,0 1,4
	09X16H4Б					
Фрезерование плоскостей: с резким выходом зубьев [9]	12X18H10T	Фреза торцовая из: ВК Ø90 мм	Воздух	ЭГТ (5 %-ная)	1,7	—
				Укринол-1 (5 %-ная) MP-1 MP-4 ОСМ-3	3,0 4,5 5,2 6,5	
				Укринол-1 (3 %-ная) Карбамол-Э1 (3 %-ная) Аквапол-1 (3 %-ная) Аквол-6 (3 %-ная)	1,2 1,3 1,8 2,0	
с плавным выходом		P18	ЭГТ (3 %-ная)			

Фрезерование пазов шириной 8 мм, глубиной 10 мм	12X18N10T	Фреза дисковая из Р9КС	ЭТ-2 (3 %-ная)	Аквол-10 (5 %-ная) Укринол-1 (10 %-ная) И-12А ОСМ-3	0,8 1,3 2,0 2,6	—
	20X13	Протяжка из Р18	Сульфифрезол	Укринол-1 (10 %-ная) МР-1у МР-3	0,8 1,2 1,4	0,6 1,4 1,5
	14X17N2		ЭГТ (5 %-ная) Сульфифрезол	Аквол-11 (10 %-ная) МР-99	1,5 1,5—2	— 2,0
Обработка на токарных автоматах: точение, сверление, отрезка	12X18N10T	Резцы и сверла из Р6М5	Сульфифрезол	МР-1у МР-3 20% МР-5у + И-12А МР-7	1,2 1,2 0,6 1,0	—
	14X17N2	Резцы из Р18	Сульфифрезол	МР-1у МР-7 ОСМ-5	1,2 1,0 1,1	1,4 1,2 1,2

фасонное точение, резьбоп-
резание

менте (сверла с каналами). В этом случае стойкость инструмента может быть повышена в 3—5 раз по сравнению со стойкостью при подаче жидкости поливом или смачиванием кистью. На станках с вертикальным расположением оси сверла (вертикально-сверлильных, радиально-сверлильных и т. д.) сверла с внутренними каналами для подвода жидкости целесообразно применять при сверлении отверстий глубиной более двух-трех диаметров.

При сверлении отверстий малого диаметра (менее 3—4 мм), глубиной более 100 мм в коррозионно-стойких сталях экономически оправдано применение СОТС при высоких статических давлениях ($p > 10$ МПа).

При обработке отверстий малого диаметра на настольно-сверлильных станках подвод СОТС обычно осуществляется путем смачивания инструмента и детали кистью, так как указанные станки не оборудованы системами подачи СОТС поливом. Более эффективным способом подвода СОТС является погружение детали в специальную ванну с регулируемым уровнем СОТС. Этот способ обеспечивает не только хорошее проникновение жидкости в зону резания, но и усиленный теплоотвод от обрабатываемой детали.

Приведенные в табл. 1 данные показывают, что на операциях глубокого сверления специальными сверлами диаметром 23—37,5 мм СОЖ МР-3 превосходила по технологическим свойствам все испытанные жидкости, увеличив стойкость инструмента в 1,6—3 раза. Одновременно с повышением стойкости инструмента отмечено снижение в 1,5—2 раза увода просверленных отверстий

в результате меньшего изнашивания направляющих элементов сверл.

Применяемые для глубокого сверления СОТС должны обеспечивать эффективное снижение трения как на режущих, так и на направляющих элементах сверла, т. е. обладать высокими смазывающими свойствами в широком диапазоне условий трения. При обработке отверстий малого диаметра необходимо применять маловязкие СОТС. С увеличением диаметра и уменьшением глубины отверстий уменьшается гидравлическое сопротивление подводящих каналов, что позволяет прокачивать жидкость большей вязкости, которая лучше удаляет образующуюся стружку. Более вязкие СОТС, кроме того, обеспечивают лучшее смазывание направляющих элементов в режиме гидродинамического трения.

При развертывании отверстий малого диаметра в коррозионно-стойких сталях применение СОТС с высокими смазывающими свойствами обеспечивает более высокую стойкость инструмента и лучшее качество обработанной поверхности. При развертывании отверстий диаметром более 8 мм часто применяют водоземulsionные СОТС с массовой долей 8—12%, обеспечивающие лучшие санитарно-гигиенические условия труда по сравнению с масляными составами. В процессе развертывания отверстий образуется мелкая стружка, которая может попасть под калибрующие ленточки развертки и образовать глубокие риски на обработанной поверхности. Поэтому для стабильного получения качественных поверхностей важно обеспечить своевременное и полное удаление струж-

ки из канавок между зубьями. В случае применения масляных СОТС предпочтение следует отдавать маловязким составам, хорошо смывающим стружку.

Нарезание резьбы в коррозионно-стойких сталях осуществляют с применением масляных СОТС с высоким содержанием противозадирных и противоизносных присадок. Вязкость СОТС следует выбирать в зависимости от способа подачи жидкости в зону резания. В единичном и мелкосерийном производстве при нарезании резьбы СОТС обычно вводят в зону обработки путем смачивания инструмента кистью. В этом случае целесообразно применять СОТС высокой вязкости [при 50 °С кинематическая вязкость $(20-30) \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$], которые лучше удерживаются на инструменте. При подаче поливом СОТС могут иметь меньшую вязкость. При замене эмульсионных СОТС масляными с высоким содержанием хлорсодержащих присадок стойкость метчиков увеличивается в 2 раза и более. Высота микронеровностей снижается в 2 раза.

Фрезерование коррозионно-стойких сталей концевыми, дисковыми, цилиндрическими фрезами, а также отрезку дисковыми и ленточными пилами целесообразно осуществлять с применением эмульсионных или полусинтетических СОТС. Чем пластичнее сталь, тем большее влияние оказывает СОТС на процесс фрезерования. При фрезеровании малопластичных термически упрочненных сталей типа 09Х16Н4Б, 40Х13 состав СОТС мало влияет на стойкость инструмента ($K_T=1 \div 1,2$). При фрезеровании вязких сталей более эффективны СОТС с высокими смазывающи-

ми свойствами, например Аквол-6 10%-ной концентрации.

При фрезеровании плоскостей торцовыми фрезами последние могут быть оснащены ножами как из быстрорежущей стали, так и из твердого сплава. Твердосплавные фрезы имеют большую износостойкость, но меньшую прочность на изгиб. При использовании стальных торцовых фрез во всех случаях целесообразно применение СОТС на водной основе, обладающих высокими охлаждающими свойствами. При использовании торцовых фрез, оснащенных ножами из твердых сплавов, характеристика эффективных СОТС зависит от свойств обрабатываемой стали и схемы фрезерования. При обработке высокопрочных коррозионно-стойких сталей с мартенситной структурой торцовое фрезерование проводят без применения СОТС. Пластичные стали, склонные к налипанию на твердосплавные ножи, обрабатывают с применением СОТС на водной или масляной основе. Наибольшее влияние СОТС оказывают на стойкость твердосплавных торцовых фрез, работающих по схеме с резким выходом зубьев. В этом случае при резании без применения СОТС наблюдается приваривание стружки к твердосплавным зубьям с последующим отделением крупных частиц твердого сплава вместе со стружкой. СОТС препятствуют привариванию стружки к зубьям фрезы, тем самым повышая их стойкость и работоспособность.

При протягивании круглых, фасонных отверстий и пазов в деталях из коррозионно-стойких сталей чаще применяют СОТС на масляной основе, обеспечивающие

2. Рекомендации по выбору СОТС для обработки резанием коррозионно-стойких сталей

Металлорежущее оборудование	Рекомендуемые СОТС для обработки сталей с пределом прочности						Примечание
	$\sigma_s \leq 1000$ МПа			$\sigma_s > 1000$ МПа			
	Вид	Марка	Концентрация, %	Вид	Марка	Концентрация, %	
Токарные, расточные, фрезерные, отрезные, сверлильные станки, обрабатывающие центры, автоматические линии	Эмульсионные с противозносными присадками или масляные средней вязкости со средним содержанием присадок	Аввол-6	8—12	Полусинтетические или эмульсионные	Аввол-11	3—5	Масляные СОТС применяются на операциях фрезерования узких пазов, резободрезания, а также обработки отверстий диаметром менее 4—5 мм
		Аввол-2			Украинол-1		
		МР-3			Аввол-2		
		МР-1у		Аввол-6			
		МР-7		Карбонал-31			
Токарные автоматы	Масляные средней вязкости со средним содержанием присадок	МР-1 МР-7	100	Масляные средней вязкости со средним содержанием присадок	МР-1у ОС М-5	100	—
Протяжные, зубофрезерные, зубодолбежные станки и станки для глубокого сверления отверстий диаметром до 40 мм	Масляные низкой или средней вязкости со средним содержанием присадок	МР-3 МР-1у	100	Масляные низкой или средней вязкости со средним содержанием присадок	МР-3	100	Подача СОТС на станках для глубокого сверления отверстий диаметром 4—40 мм производится под давлением 4—10 МПа с расходом 3—200 л/мин

Станки для глубокого сверления отверстий диаметром более 40 мм	МР-7	100	Масляные viscosity со средним содержанием присадок	МР-7	100	Подача СОТС на станках для глубокого сверления отверстий диаметром 40—200 мм производится под давлением 0,8—5 МПа с расходом 150—600 л/мин
Резьбонарезные, настольно-сверлильные станки	МР-6 МР-99	100	Масляные viscosity со средним содержанием присадок	МР-6 ЛЗ-СОЖ IT	100	Подача СОТС смачиванием кистью и погружением детали в ванну

лучшее качество обработанной поверхности. Иногда применяют одновременно две технологические среды: протяжку смазывают химически активным маслом, а деталь охлаждают водной СОЖ. Этим достигаются интенсивный отвод теплоты и высокое качество обработанной поверхности. СОЖ, которая вводится в зону обработки путем предварительного нанесения на протяжку, должна иметь кинематическую вязкость при 50 °С не менее $20 \cdot 10^{-6}$ м²/с. При подаче СОТС поливом вязкость может быть меньшая. При протягивании коррозионно-стойких сталей СОТС МР-1у и МР-3, подаваемые поливом, повышают стойкость инструмента в 1,2—1,4 раза по сравнению с сульфорезолем.

СОТС, предназначенные для токарных и токарно-револьверных автоматов, должны обеспечивать смазывание как режущего инструмента, так и поверхностей трения открытых механизмов станка, т. е. должны обладать высокой универсальностью. Кроме того, они не должны вызывать разрушения медных деталей оборудования, например медных трубопроводов. Несмотря на расположение трубопроводов в закрытом от СОТС пространстве, частицы его в виде аэрозоля могут попадать на трубопроводы и вызывать их коррозию. Из испытанных композиций в большей степени удовлетворяет перечисленным требованиям МР-1у. Ее применение вместо сульфорезола повышает стойкость режущего инструмента в среднем в 1,2 раза и улучшает в пределах одного класса чистоту обработанной поверхности. Если токарный автомат не выполняет операции

нарезания резьбы, то после некоторой его модернизации, устраняющей утечку СОТС в смазочную систему, допустимо в качестве СОТС применять эмульсии с противозносными присадками (Аквол-2, Аквол-6 и др.) концентрацией 10—20%.

Зубчатые колеса редко изготавливают из коррозионно-стойких сталей. Тем не менее при выполнении зуборезных операций при обработке указанных сталей целесообразно применять СОТС на масляной основе тех же марок, что и для токарных автоматов.

Рекомендации по выбору СОТС для обработки резанием коррозионно-стойких сталей на различных металлорежущих станках приведены в табл. 2.

2. СОТС ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЖАРОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ

К жаропрочным относят такие стали и сплавы, которые обладают способностью работать в нагруженном состоянии при температуре более 600—700 °С. Практически все жаропрочные стали и сплавы одновременно являются коррозионно-стойкими и жаростойкими.

Жаропрочные стали аустенитного класса легируют Cr (12—25%), Ni (6—24%), Mn, Mo, Ti, W, V и др.

Из жаропрочных сплавов на никелевой, железоникелевой, кобальтовой, хромовой основе изготавливают детали, работающие при температуре ~1000 °С.

По характеру взаимодействия обрабатываемого материала с режущим инструментом и СОТС жаропрочные стали и сплавы можно условно разделить на две

группы: жаропрочные стали и деформируемые сплавы; жаропрочные литейные сплавы.

Жаропрочные стали и деформируемые сплавы склонны к сильному адгезионному взаимодействию с режущим инструментом при умеренном абразивном воздействии. Преобладающим видом изнашивания при этом является адгезионно-усталостное.

При обработке резанием литейных жаропрочных сплавов инструмент подвергается сильнейшему воздействию высокотвердых включений в обрабатываемом материале. Адгезионно-усталостное изнашивание проявляется в меньшей степени.

Таким образом, для обработки материалов первой группы необходимо применять СОТС, обладающие повышенной смазывающей способностью. При резании материалов второй группы (литейных сплавов) применение СОТС с резко различными функциональными свойствами (например, водных растворов ингибиторов коррозии и масляных жидкостей с большим содержанием противозносных присадок) незначительно изменяет интенсивность изнашивания режущего инструмента. В этом случае часто применяют более дешевые и гигиеничные водные СОТС.

В табл. 3 приведены результаты лабораторных и производственных испытаний ряда СОТС на водной и масляной основах, а также кислорода и углекислого газа при обработке жаропрочных сталей и сплавов на операциях продольного точения и отрезки, сверления, нарезания резьбы, фрезерования, протягивания и шлифования. Технологические свойства СОТС сравниваются по коэффициентам повышения стойкости

режущих инструментов и снижения высоты микронеровностей обработанной поверхности (K_T и K_R).

Из табл. 3 следует, что при обработке деформируемых сталей и сплавов на операциях точения, сверления, концевой фрезерования применение эмульсий с противоизносными присадками типа Аквол-6 вместо товарных эмульсий без противоизносных присадок (ЭГТ) обеспечивает повышение стойкости инструмента в 2 раза и более.

Масляные СОТС на операциях точения и фрезерования концевыми фрезами по технологическим свойствам приближаются к эмульсионным с противоизносными присадками. На операциях обработки отверстий масляные СОТС значительно превосходят водные. Например, при сверлении отверстий диаметром 5 мм, глубиной 10 мм в сплаве ХН78Т применение 10-ной эмульсии Аквол-6 (вместо 3%-ной) эмульсии ЭГТ повышает стойкость инструмента в 2,2 раза, а применение масляной СОТС МР-3 в 7,4 раза.

Масляные СОТС применяют при обработке рассматриваемых сталей и сплавов на операциях точения или фрезерования узких пазов, при обработке отверстий малого диаметра, при глубоком и вибрационном сверлении, протягивании, резьбонарезании, фасонном шлифовании и др. На операциях точения и фрезерования узких пазов, протягивания, глубокого и вибрационного сверления отверстий диаметром менее 30 мм целесообразно применять масляные жидкости средней вязкости типа МР-1у, МР-3, ОСМ-5 (подача СОТС поливом или под высоким давлением через каналы

в инструменте). При подаче СОТС в зону резания с помощью кисти (смазыванием инструмента кистью) более высокие результаты можно получить от применения СОТС высокой вязкости с высоким содержанием присадок (МР-6, МР-99).

Весьма трудновыполнимой является операция нарезания внутренних резьб малого диаметра в жаропрочных сплавах. Для снижения крутящего момента, повышения стойкости метчиков и качества поверхности рекомендуется применять СОТС высокой вязкости с высоким содержанием присадок.

Например, при нарезании резьбы от М6 до М8 в сплавах на никелевой основе применение СОТС МР-6 с высоким содержанием хлора в отличие от сульфорезола обеспечивало повышение стойкости метчиков в 1,4—1,5 раза. Хорошие результаты на этой операции получают от применения пластичных смазочных композиций (паст) на основе жидких кислот, мыл, твердых смазочных веществ типа дисульфида молибдена, порошков легкоплавких металлов и др.

При обработке литейных сплавов на никелевой или кобальтовой основе в большинстве случаев следует применять СОТС на водной основе. При этом марка СОТС незначительно влияет на стойкость режущего инструмента. Исключение составляют операции обработки узких пазов, внутренних резьб и глубоких отверстий. На этих операциях целесообразно применять масляные СОТС.

Рекомендации по выбору СОТС для обработки резанием жаропрочных сталей и сплавов на металлорежущих станках наиболее

3. Влияние СОТС на стойкость режущего инструмента и шероховатость поверхности при обработке жаропрочных сталей и сплавов

Операция	Марка обрабатываемого материала	Инструмент	СОТС		K _γ	K _н
			заменяемые	новые		
Продольное точение	ХН77ТЮР	Резец проходной из: Р18	И-12А	Синтетическая на основе триэтанолamina	1,8	0,8
			Э-2 (5%-ная)	Э-2 (10%-ная) + МР-1у	1,8	1,2
		Аквол-6 (10%-ная)		2,0	1,0	
		ВК8	Воздух	Э-2 (5%-ная) в распыленном виде	1,7	—
				СО ₂ (p=0.2 МПа) О ₂ (расход 40 л/мин)	1,4 1,0	
				Укринол-1 (5%-ная)	1,9	
	ЭТ-2 (10%-ная) МР-1 Аквол-6 (5%-ная)			1,5 1,3 1,5 1,8		
	15Х18Н12С4ТЮ	Р9К5				
	ХН35ВТЮ					

Сверление на глубину: 3d	ЖС6КП	Т17КТ2	Укринол-1 (5%-ная)	Аквол-11 (20%-ная) МР-2у МР-5у (10%-ная)	1,2 1,3 1,4	1,0 1,2 1,3
			ЭГТ (5%-ная)	Карбамол-Э1 (5%-ная)	1,2	—
	ХН38ВТ	Сверло из Р6М5 Ø5 мм	ЭГТ (3%-ная)	Аквапол-1 (3%-ная) Аквол-6 (3%-ная) Аквол-6 (10%-ная) Аквол-6 (50%-ная) МР-1у МР-3 МР-6 МР-7	1,6 1,7 2,0 3,3 3,2 3,2 3,2 3,0	
					1,5 2,2 7,4	
					1,4 1,6 1,4	
					1,0 0,3	
					1,0 0,3	
	ЖС6К	Сверло из ВК10: Ø6,3 мм	ЭГТ (10%-ная)	Аквол-6 (10%-ная) МР-3 МР-6	1,4 1,6 1,4	—
					1,4 1,6 1,4	
	ВХ4Л	Ø5,1 мм	ЭГТ (10%-ная)	Аквол-6 (10%-ная) МР-7	1,0 0,3	—
					1,0 0,3	
	ХН78Г	Сверло из Р6М5 Ø5 мм	ЭГТ (3%-ная)	Аквол-6 (3%-ная) Аквол-6 (10%-ная) МР-3	1,5 2,2 7,4	—
					1,5 2,2 7,4	

Операция	Марка обрабатываемого материала	Инструмент	СОТС		K _T	K _д
			заменяемые	новые		
4d	15X18H12C4TЮ	Сверло из: P18 Ø1,5 мм	Э-2 (10%-ная)	АВК-1 Олеиновая кислота MP-1y	0,8 1,8 1,8	—
2d	XH35BTЮ	P9K5 Ø10	ЭТ-2 (10%-ная) осеренная	MP-1y Вода + 0,3 NaNO ₂ + + 0,3% Na ₂ CO ₃	10 0,2	
	XH38BT	Метчик из: P6M5 (M6 × 1)	Сульфифрезол	MP-1y MP-3 MP-6 MP-7 50% MP-7 + хлорпарафин	1,1 1,0 1,4 1,0 1,4	
Нарезание резьбы	XH77TЮP	P6M5K5 (M8 × 1,25)	Сульфифрезол	Хлорпарафин ХП-470 MP-1y MP-3 MP-5y MP-6 MP-7 Аквол-6 (100%-ная) МХО-64 (100%-ная)	1,4 1,2 1,0 1,0 1,5 1,3 0,5 0,5	1,5 1,3 1,3 0,8 1,5 1,0 0,5 0,5

Фрезерование уступов	XH67MBTЮ	Фреза концевая из: P18	ЭГТ (2%-ная)	Аквол-2 (5%-ная) MP-1y	2,0 2,0	—
	XH70BMTЮP		ЭГТ (2%-ная)	Аквол-2 (5%-ная)	1,2	
Фрезерование плоскостей: с резким выходом зубьев	XH77TЮP	Фреза торцовая из BK8: Ø90 мм	Воздух	Укринол-1 (5%-ная) ОСМ-3 MP-5y MP-1y MP-4	0,85 1,0 1,6 2,0 3,0	—
	ЖС6К	Ø30 мм		Укринол-1 (5%-ная) Аквол-6 (5%-ная) Аквол-6 (20%-ная)	1,2 1,3 1,4	
Фрезерование пазов шириной 8 мм	XH35BTЮ	Фреза дисковая из P9K5		Вода + 0,3% NaNO ₂ + + 0,3% Na ₂ CO ₃ MP-1y MP-99 (15%-ная)	1,2 1,8 3,0	
Протягивание пазов	XH77TЮP	Протяжка из P18	Э-2 (10%-ная)	И-20 + 2,5% CCl ₄ Осеренный дистиллятный экстракт + 45% дизельного топлива	2,0 2,1	1,5 1,5
			Сульфифрезол	MP-99	2,0	1,5

4. Рекомендации по выбору СОТС для обработки резанием жаропрочных сталей и сплавов

Металлорежущее оборудование	Рекомендуемые СОТС для обработки жаропрочных сталей и сплавов						Примечание	
	сталей и легированных сплавов			литых сплавов				
	Вид СОТС	Марка	Концентрация, мас. доля, %	Вид СОТС	Марка	Концентрация, мас. доля, %		
Токарно-винторезные, токарно-резально-вольерные, раскаточные, фрезерные станки, обрабатывающие центры	Эмульсионные с противозадирными присадками или масляные со средней вязкостью со средним содержанием присадок	Аквол-6 Аквол-2	8—12	Полусинтетические или эмульсионные	Аквол-11 Карбал-Э1 Укринол-1, Аквол-2, Аквол-6	3—5	Масляные СОТС применяют на операциях обработки пазов, фрезерования твердосплавными инструментами, резьбонарезания, а также при высоких требованиях к качеству поверхности	
		MP-1y MP-7	100		MP-1y MP-3	100		
Вертикально-сверлильные, радиально-сверлильные станки	Эмульсионные с противозадирными присадками или масляные со средней и высокой вязкостью со средним содержанием присадок	Аквол-6 Аквол-2	10—20	Полусинтетические или эмульсионные	Аквол-11 Карбал-Э1, Укринол-1 Аквол-6	3—5	Масляные СОТС применяют при сверлении отверстий диаметром менее 6 мм, резьбонарезании, развёртывании	
		MP-1y MP-6 MP-7						100
		MP-99						50

Токарные автоматы, протяжные станки, станки для глубокого и вибрационного сверления	Масляные сред-ней или высокой вязкости со сред-ним или высоким содержанием присадок	MP-1y MP-3y MP-5y MP-7y MP-99	100	Масляные сред-ней вязкости со сред-ним содержанием присадок или эмульсион-ные	MP-1y MP-7 ОСМ-5 Аквол-6 Аквол-2 MP-1y Аквол-2 Аквол-6	100 5—100	Эмульсии приме-няют при обра-ботке сплавов на основе Сг
Резьбонарезные, настольно-свер-лильные станки	Масляные высо-кой вязкости с высоким содер-жанием присадок	MP-6 MP-99	100	Масляные сред-ней вязкости со сред-ним содержанием присадок или эмульсион-ные	MP-1y MP-7 Аквол-2 Аквол-6	100 5—100	Эмульсии приме-няют при обра-ботке сплавов на основе Сг

распространенных типов приведе-ны в табл. 4 (см. также табл. 3 гл. IV).

3. СОТС ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ И ТУГОПЛАВКИХ МАТЕРИАЛОВ

К высокопрочным принято от-носить легированные стали с пре-делом прочности, превышающим 1600 МПа. Наибольшее распро-странение в промышленности име-ют высокопрочные стали, леги-рованные Cr, Si, Ni, Mo, V, Mn и другими элементами. В отличие от обычных углеродистых или низколегированных сталей с ма-лым содержанием Ni высокопроч-ные стали после упрочняющей термической обработки (заковки и отпуска) не теряют некоторой пластичности ($\delta = 4 + 8\%$).

Высокопрочные стали в отож-женном состоянии при обрабаты-ваемости резанием мало отлича-ются от обычных конструкцион-ных сталей, и для их обработки рекомендуется применять те же СОТС, что и для обычных сталей. Стали с $\sigma_s < 2000$ МПа могут быть обработаны инструментом из быстрорежущей стали при условии снижения скорости реза-ния до 1—10 м/мин. Более произ-водительно обрабатывать эти ста-ли твердосплавным инструмен-том. Стали с $\sigma_s \geq 2000$ МПа обрабатывают только твердо-сплавным инструментом или ин-струментом, оснащенным синте-тическими сверхтвердыми матери-алами.

Механическая обработка высо-копрочных сталей характеризуется большими силами резания и интенсивным тепловыделением. В связи с возникновением на

8. Влияние СОТС на стойкость режущего инструмента при обработке высокопрочных сталей

Операция	Марка обрабатываемого материала	Инструмент	СОТС		K _T
			заменяемые	новые	
Точение продольное	30X2ГСН2ВМ (46—48 HRC _c)	Резец проходной из: Р9К5 АК6М	Э-2 (10%-ная) Э-2 (10%-ная)	МР-2у РЗ-СОЖ 8 (20%-ная) Уринол-1 (20%-ная)	0,2 1,6
	Сверление на глубину, мм: 12	Сверло из: Р18К5Ф2 Ø10,8 мм	Э-2 (10%-ная)	Уринол-1 (10%-ная) РЗ-СОЖ 8 (10%-ная) МР-2у	1,8 1,4 3,5
8	30X2ГСН2ВМ (46—48 HRC _c)	ВК10М Ø5,6 мм	Воздух	Аквол-11 (3%-ная) МР-1у Аквалол-1 (5%-ная)	1,7 4,0 2,2
	ВКС-210 (53—56 HRC _c)				
Нарезание резьбы: М12	30X2ГСН2ВМ (46—48 HRC _c)	Метчик из: Р9К5 (М12 × 1,28)	Сульфорефрезол	МР-6 МР-2у	1,1 1,0
	ВНС-5				
М10	33Х3СНМВФА (49—51 HRC _c)	Р18К5Ф2 (М10 × 1)	Касторовое масло	МР-99	2—2,5
	28Х3СНМФА (46—48 HRC _c)		Сульфорефрезол	МР-1у ОСМ-3 Уринол-1 (10-ная) МР-6	
		Р6М5К5 (М6)		Карбонал (паста)	1,1 0,45 0,1 1,6 1,2

режущих поверхностях инструмента высокого давления реализация смазывающих свойств СОТС на операциях точения и фрезерования затруднена. На других операциях, при выполнении которых инструмент контактирует с обрабатываемым материалом по поверхностям относительно большой площади, смазывающие свойства СОТС весьма важны.

В табл. 5 представлены сведения о влиянии различных СОТС на стойкость режущих инструментов при обработке высокопрочных сталей на операциях точения, фрезерования, сверления, нарезания резьбы и шлифования. Применение СОТС МР-2у (на масляной основе), обладающей высокими смазывающими и низкими охлаждающими свойствами, снижает стойкость резцов при продольном точении стали 30Х2ГСН2ВМ по сравнению с применением эмульсионной СОТС. На других операциях более эффективны СОТС с высокими смазывающими свойствами.

Масляные СОТС эффективны на многих операциях. Однако их применение ограничено в связи с низкими санитарно-гигиеническими свойствами.

Рекомендации по выбору СОТС для обработки резанием высокопрочных сталей в зависимости от типа применяемого металлорежущего оборудования приведены в табл. 6. Масляные СОТС рекомендуется применять на токарных автоматах, протяжных, зубофрезерных, зубодолбежных, резьбонарезных, настольно-сверлильных станках, а также на станках для глубокого сверления. На токарных, ристочных, фрезерных, отрезных, сверлильных, шлифовальных станках, а также на много-

операционных станках (обрабатывающих центрах) и автоматических линиях следует применять СОТС на водной основе. На операциях хонингования отверстий абразивными инструментами большой съем металла и высокое качество поверхности обеспечивает применение маловязких масляных СОТС типа ОСМ-1. При алмазном хонинговании достаточно высокие результаты могут быть получены от применения СОТС на водной основе типа Синхо-2М.

Из тугоплавких сплавов наибольшее распространение в качестве конструкционных материалов получили сплавы на основе W, Mo, Ta и Nb. Такие сплавы сходны между собой по уровню некоторых теплофизических характеристик, но резко различаются по механическим свойствам. Так, если вольфрамовые сплавы отличаются повышенной твердостью и хрупкостью ($\delta_5 = 1 \div 2\%$), то сплавы на основе Nb и Ta весьма пластичны ($\delta_5 = 25 \div 40\%$). Сплавы на основе Mo занимают промежуточное положение ($\delta_5 = 10 \div 15\%$).

В табл. 7 представлены данные о влиянии различных СОТС на стойкость режущего инструмента и высоту микронеровностей обработанной поверхности тугоплавких материалов при точении, фрезеровании, сверлении, развёртывании и нарезании резьбы метчиками.

При обработке вольфрамовых сплавов почти на всех операциях механической обработки лучшие результаты получены от применения СОТС с высокими смазывающими свойствами (10%-ная эмульсия Аквол-6, масляные жидкости МР-6 и МР-2у с химически-

6. Рекомендации по выбору СОТС для обработки резанием высокопрочных сталей*

Материалы и операции обработки	Рекомендуемые СОТС		Примечание
	Вид	Марка	
Токарные, расточные, фрезерные, шлифовальные, сверлильные станки, обрабатывающие центры, автоматические линии	Полусинтетические или мушкетерные	Авантол-1, Укринол-1, Авант-2, Авант-6, Карбамол-Э	Подача СОТС по режиму
Токарные автоматы	Масляные средней или высокой вязкости со средним содержанием присадок	МР-1у, ОСМ-5, МР-7	—
Проточные, зубофрезерные, зубодолбежные	Масляные средней вязкости со средним содержанием присадок	МР-1у	На проточных станках допускается применение мушкетерных СОТС
Сложки для глубокого сверления отверстий диаметром, мм до 40	Масляные ниткой или средней вязкости со средним содержанием присадок	МР-3, МР-1у	Подача СОТС под давлением 4—10 МПа с расходом 1—200 л/мин
болес 40	Масляные высокой вязкости со средним содержанием присадок	МР-7	Подача СОТС под давлением 0,8—3 МПа с расходом 150—300 л/мин
Резишнорные, настольно-сверлильные станки	Масляные с высоким содержанием присадок	МР-6, ЛЗ-СОЖ-1Т, МР-90	Подача СОТС с избыточным давлением или с наружным давлением в канал

* Марки СОТС для обработки высокопрочных сталей приведены также в табл. 3 (гр. IV).

Примечание. Концентрация рабочих СОТС составляет 3—5% (мас. доля).

и поверхностно-активными противозносными присадками и др.). При фрезеровании W некоторое повышение стойкости инструмента может быть достигнуто от использования в качестве СОТС жидкометаллических расплавов (Pb, Sn и др.). Однако этот технический прием не нашел широкого применения ввиду сложности его практического осуществления.

Вольфрамовые сплавы обладают высокой адгезионной и абразивной способностью, что и является основной причиной низкой стойкости режущих инструментов. СОТС, обладающие высокими смазывающими свойствами, подавляют адгезионное изнашивание, тем самым повышая стойкость режущего инструмента.

Молибденовые сплавы пластичнее вольфрамовых, поэтому СОТС оказывает большее влияние на процесс их обработки резанием. При непрерывном резании молибденовых сплавов стальным инструментом (операции точения, сверления, развертывания и др.) на передней поверхности последнего образуются налипсы обрабатываемого металла, защищающие инструмент от изнашивания. Если при этом применять СОТС с высокими смазывающими свойствами, то налипсы на режущей поверхности не образуются. Точение молибденовых сплавов твердосплавными резцами осуществляется с повышенной скоростью резания, при которой защитные налипсы не образуются. В таких условиях химически и поверхностно-активные СОТС благоприятно влияют на стойкость инструмента. Например, при то-

чении сплава резцом, оснащенным твердым сплавом ВК8, применение в качестве СОТС высокохлорированных соединений (CCl_4 , хлорпарафин и др.) обеспечило повышение стойкости инструмента в 4,5—10 раз. Охлаждающие свойства СОТС также оказывают благоприятное влияние на процесс точения молибденовых сплавов. Так, при использовании воды или 5%-ной эмульсии в отличие от резания в среде воздуха стойкость резцов повысилась в 2 раза.

На операциях прерывистого резания молибденовых сплавов материал режущего инструмента в меньшей степени влияет на выбор типа СОТС.

Необычно влияние СОТС на процесс сверления молибденовых сплавов. Применение 10%-ной эмульсии при сверлении молибденового сплава сверлом из Р18 снижает стойкость инструмента в 10 раз. Объясняется такой результат активизацией абразивного изнашивания под действием водной СОТС в результате образования мелкодисперсной стружки. Для удаления этой стружки рекомендуется использовать сжатый воздух или подачу СОТС под давлением.

Сплавы на основе ниобия и тантала обладают большой пластичностью и склонностью к налипанию на режущий инструмент. При их обработке резанием практически на всех операциях целесообразно применять СОТС с высокими смазывающими свойствами — концентрированные эмульсии или маловязкие масла с противозносными присадками.

7. Влияние СОТС на стойкость режущего инструмента и шероховатость поверхности при обработке тугоплавких материалов

Операция	Обрабатываемый материал	Инструмент	СОТС		K _T	K _R
			заменяемые	новые		
Продольное точение	Вольфрамовый сплав	Резец проходной из: BK8	Воздух	Аквол-6 (5%-ная) Аквол-6 (10%-ная)	1,2—2,6 1,1—4,5	3,0 4,0
	Вольфрам (σ _в = 550 ÷ 600 МПа)	BK6M		MP-1y MP-6 Укринол-1	2,1 3,3 1,0	— 2,0 —
	Молибденовый сплав	P18		MP-7 5% BaCl ₂ + вода 50% CCl ₄ + И-12А CO ₂	0,5 0,2—0,4 0,1—0,3 1,3—1,6	—
				5% BaCl ₂ + вода 50% CCl ₄ + И-12А	1,3—3,0 До 10	—
				MP-1y MP-99 Вода Моющее средство «Новость» (7%) 50% хлорпарафина 25% CCl ₄ + хлорпарафин	1,1 1,3 1,0 2,5 4,5 15	1,25 1,8 3,0 2,5 2,0 10
	Молибденовый сплав	BK8				

Фрезерование плоскостей:	Вольфрамовый сплав	Фреза: торцовая из ВК8Ø42 мм	Воздух	Укринол-1 (5%-ная)	1,1	
				Сплав Вуда при 100 °С	0,8	
уступов	Вольфрам горяче-прессованный	концевая из ВК8Ø16 мм		Припой ПОС-50 при 230 °С	1,2	
плоскостей		торцовая из ВК8 Ø85 мм		Свинец при 360 °С	2,6	
пазов глубиной 3 мм	Молибденовый сплав	дисковая Р9 Ø110 мм		Припой ПОС-50 при 400 °С	1,8	
Развертывание		Развертка из Р18, Ø11,7 мм		Э-2 (5%-ная)	0,5—2	
				Э-2 (50%-ная)	0,6	
Сверление	Вольфрамовый сплав с никелем	Сверло из: ВК15МØ6 мм	Э-2 (5%-ная)	MP-7	1,2	0,3
				Олеиновая кислота	1,1	1,0
	Ниобиевый сплав	P18Ø12 мм		Укринол-1 (5%-ная)	1,5	
		P18Ø5,7 мм		MP-6	3 5	
Нарезание резьбы	Холоднопрессованный вольфрам с никелем	Метчик Р9К5 (М8 × 1,25)	Э-2 (10%-ная)	Укринол-1 (5%-ная)	1,5	
				MP-2y	2,9	
				MP-2y	3—5	
				MP-2y	1,75	
				Укринол-1 (10%-ная)	1,0	
				MP-6	1,7	

4. СОТС ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Титановые сплавы широко применяются в технике благодаря их уникальным свойствам: высокой удельной прочности, коррозионной стойкости, немагнитности и др. По обрабатываемости резанием титановые сплавы занимают промежуточное положение между коррозионно-стойкими сталями и жаропрочными сплавами. Высокая прочность и чрезвычайно низкая теплопроводность являются причиной возникновения высоких температур на режущих поверхностях при обработке титановых сплавов резанием. Высокие температуры, с одной стороны, активизируют явления диффузионного и адгезионного изнашивания инструмента, а с другой — разупрочняют деформируемый слой металла, облегчая резание.

СОТС оказывает сложное и неоднозначное влияние на процессы, происходящие при резании титановых сплавов.

Охлаждая зону резания, СОТС уменьшает интенсивность диффузионного изнашивания и одновременно разупрочнение срезаемого слоя. Образование смазочных пленок на контактных площадках снижает силы резания и одновременно затрудняет образование заторможенных слоев металла, предохраняющих режущие поверхности от изнашивания.

Опыт применения различных технологических сред при обработке титановых сплавов показывает, что на операциях с «жесткими» условиями трения в зонах контакта инструмента с обрабатываемым материалом (точение, растачивание, фрезерование плос-

костей и уступов и др.) более эффективны водные СОТС с минимальным содержанием масляной фазы и противоизносных присадок. Например (табл. 8), при концевом фрезеровании сплава BT3-1 синтетическое СОТС Аквол-10М 3%-ной концентрации оказалось эффективнее полусинтетической Аквол-11 (5%-ной) и эмульсионных ЭГТ (5%-ной) и Укринол-1 (5%-ной). При продольном точении сплава BT20 эмульсионные СОТС с малым содержанием присадок превзошли по степени влияния на стойкость инструментов эмульсионную СОТС Аквол-2 с большим содержанием противоизносных присадок.

Операции фрезерования пазов, сверления, протягивания, развертывания, резьбонарезания характеризуются более «мягкими» условиями трения (особенно на направляющих элементах и вспомогательных задних поверхностях режущих инструментов). На этих операциях создаются более благоприятные условия для реализации как смазывающих, так и охлаждающих свойств СОТС. Поэтому эмульсионные СОТС повышенной концентрации, содержащие некоторое количество противоизносных присадок, превосходят как синтетические жидкости малой концентрации, так и масляные СОТС с высоким содержанием присадок.

На операциях протягивания и развертывания титановых сплавов применение масляных СОТС оправдано только в тех случаях, когда требуется получение максимально высокого качества обработанной поверхности. То же относится и к операции шлифования абразивными лентами.

8. Влияние СОТС на стойкость режущего инструмента и шероховатость поверхности при обработке титановых сплавов

Операция	Марка обрабатываемого материала	Инструмент	СОТС		K_T	K_d
			маловязкие	вязкие		
Точение продольное	BT20	Резец проходной из BK8	Воздух	Укринол-1 (10%-ная) P3-COЖ 8 (10%-ная) Аквол-2 (10%-ная)	2,5 2,5 1,6	—
	BT18		ЭГТ (5%-ная)	Аквол-10М (5%-ная)	1,3—2,0	
	OT4-0	Резец из BK8	Сульфидфрезол	MP-1y	1,0	1,0
Фрезерование пазов шириной 8 мм, глубиной 10 мм	BT-5	Фреза дисковая из P9K5	Воздух	Укринол-1 (10%-ная) P3-COЖ 8 (10%-ная) MP-4 MP-1y M-12A Масло сверленное АУ	3,0 3,0 2,0 2,0 1,0 1,0	—
	BT3-1	Фреза горловая из P18 Ø90 мм	Э-2 (10%-ная)	P3-COЖ (10%-ная)	1,0	
		концевая из P18 Ø20 мм	ЭГТ (5%-ная)	Укринол-1 (5%-ная) Укринол-11 (5%-ная) Аквол-10М (3%-ная)	1,0 1,2 1,3	
Фрезерование плоскостей						
Аустемп						

Операция	Марка обрабатываемого материала	Инструмент	СОТС		K ₇	K ₈
			заменяемые	новые		
Сверление на глубину, мм: 10	BT5	Сверло из: Р6М5Ø5 мм	ЭГТ (3%-ная)	Аквол-10М (3%-ная) Аквол-6 (3%-ная) МР-3	0,9—1,0 1,5—3,3 1,5—3,3	—
20		Р9К5Ø10 мм	ЭТ-2 (осернен-ная, 10%-ная)	Укринол-1 (10%-ная) МР-4 И-12А Аквол-2 (10%-ная) РЗ-СОЖ 8 (10%-ная) 0,3%NaNO ₂ + 0,3%Na ₂ CO ₃ + вода МР-1у	1,0 1,0 0,5 2,0 2,0 2,0	
Развертывание	BT14	Развертки из ВК6 Ø9,6 мм	Воздух	0,3%NaNO ₂ + 0,3%Na ₂ CO ₃ + вода И-12А ОСМ-3 МР-2 МР-1у МР-4	—	0,6 1,5 1,8 1,8 1,8
Протягивание пазов	BT3-1	Протяжка из Р9К5		Осерненный экстракт + 45% дизельного топлива	2	—
Нарезание резьбы: М12×0,75	BT-14	Резец резьбовой из ВК8	Олисиновая кислота	МР-6	1,3	—
	BT-20Л	Метчик из Р18	Касторовое масло			

М10×1	BT-6	Метчик из Р18К5Ф2	Сульфорезол	МР-1у ОСМ-3 Укринол-1 (10%-ная) НГЛ-205 (10%-ная)	1,25 1,0 0,2 0,1	2,0 0,5 0,25 0,25

9. Рекомендации по выбору СОТС для обработки резанием титановых сплавов

Операция	Рекомендуемые СОТС			Примечание
	Вид	Марка	Содержание концентрата, мас. доля, %	
Точение, растачивание, фрезерование плоскостей и уступов, шлифование абразивными кругами	Синтетические, полусинтетические, эмульсионные	Аквол-10М Аквол-11 РЗ-СОЖ 8 Укринол-1 Карбамол-ЭТу	2,5—3 2,5—3 3—5 3—5 3—5	—
Фрезерование пазов, сверление, протягивание, развертывание, нарезание резьбы диаметром более 6 мм	Эмульсионные с противозносными присадками, содержащими иод и хлор	Аквол-6 Аквол-2	5—10	При протягивании и развертывании допускается применение маловязких масляных СОТС типа ОСМ-3
Нарезание резьбы диаметром до 6 мм	Масляные с высоким содержанием хлора	МР-6 МР-4	100	—
Шлифование абразивными лентами	Полусинтетические или эмульсионные с высокими моющими свойствами, масляные низкой вязкости	Аквол-11 Укринол-1 ОСМ-1 ОСМ-3	2,5—3 3—5 100 100	Масляные СОТС применяют при повышенных требованиях к качеству поверхности

Операции нарезания резьбы метчиками диаметром до 6 мм целесообразно выполнять с применением высокохлорированных масляных СОТС типа МР-6. При этом стойкость метчиков повышается в 1,3 раза по сравнению с их стойкостью в случае применения растительного масла или олеиновой кислоты и в 2—3 раза — в случае применения СОТС на водной основе.

Рекомендации по выбору типовых марок СОТС для обработки титановых сплавов на различных операциях приведены в табл. 9.

5. СОТС ДЛЯ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Для изготовления полупроводниковых приборов используют как монокристаллы, так и поликристаллические материалы. В наибольшем объеме подвергаются механической обработке такие полупроводниковые материалы, как кремний, германий, арсенид галлия. Основной технологической операцией здесь является разделение монокристаллов на тонкие пластины. Разрезку осуществляют большей частью алмазными кругами с внутренней режущей кромкой (тип АКВР) по технологиче-

ской схеме, показанной на рис. 1. Этот процесс ведут обязательно с применением СОТС. Интенсивные режимы резания (скорость — до 22 м/с, подача — до 50 мм/мин) требуют активного охлаждения и удаления стружки. В связи с этим применяемые при ведении этих процессов СОТС должны обладать в первую очередь хорошими охлаждающими и моющими свойствами.

Подачу СОТС осуществляют под давлением $(3-5)10^4$ Па. Меньшее давление приводит к резкому ухудшению эффекта охлаждения, поскольку в этом случае слабая струя не способна преодолеть аэродинамический поток быстро вращающегося шлифовального круга. Также нежелательным является излишнее повышение давления напорной струи, поскольку под ее действием может происходить изгиб или даже поломка отрезаемой пластины.

На станках для резки полупроводниковых слитков рекомендуется подача СОТС из двух одновременно действующих сопел (см. рис. 1). Первое из сопел омывает зону входа режущей кромки круга в изделие, а второе — направлено на выходящую из распила часть круга. При этом круг лучше очищается от остатков стружки. Расход СОТС при такой технике полива составляет около 5 л/мин.

Для обработки резанием полупроводников в качестве СОТС применяется водопроводная или специально подготовленная вода либо малоконцентрированные растворы различных веществ (рис. 2). Применение водопроводной воды позволяет облегчить последующее отделение от нее примесей. Проточная вода может освобождаться от них в специаль-

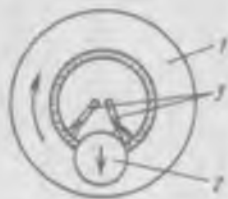


Рис. 1. Подача СОТС при отрезке полупроводниковых пластин:
1 — алмазный круг с внутренней режущей кромкой; 2 — слиток; 3 — сопла для подачи СОТС

10. Влияние среды на механические свойства поверхности арсенида галлия

СОТС	$P_{\text{пр}}$, мН	H, МПа
Воздух	5—7	20
Вода	1—2	22
Спирт изопропиловый	0,2—0,5	19
Раствор ионогенного ПАВ	18—20	17
Раствор неионогенного ПАВ	20—22	18
Раствор смеси ионогенного и неионогенного ПАВ	20—22	16

ных отстойниках. Более желательным является замкнутый тип водопользования. В этом случае применяют специальные СОТС, к числу которых можно отнести, например, 3—5%-ный раствор кальцинированной соды, 1—1,5%-ный раствор Аквол-11 или растворы других эмульсолов. В случае повышенных требований к уровню загрязнения обрабатываемых пластин для приготовления СОТС применяют дистиллированную или деионизированную воду.

Перспективным видом СОТС для резки и скрайбирования полупроводниковых пластин являются растворы ПАВ. Несмотря на то что монокристаллы с их высокой хрупкостью обладают повышенной склонностью к трещинообразованию, в поверхностно-активных средах они могут проявлять пластические свойства в тонких поверхностных слоях. В табл. 10 даны значения критической нагрузки $P_{\text{пр}}$ перехода пластичности—хрупкости и склерометрической микротвердости H при царапании алмазным зерном поверхности арсенида галлия (кри-

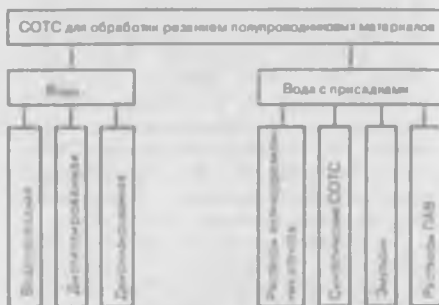


Рис. 2. Классификация СОТС, применяемых для обработки резанием полупроводников

сталлографическая плоскость 100) в различных средах. Установлено, что вода и спиртовые растворы охрупчивают поверхность полупроводников, а растворы ПАВ могут ее пластифицировать. Это объясняется проявлением эффекта Ребиндера. Растворы ПАВ показывают хорошие результаты по облегчению процесса резания как при разделении слитков, так и при скрайбировании. Однако в последнем случае рекомендуются более концентрированные смеси.

Список литературы

1. Бердичевский Е. Г. Смазочно-охлаждающие средства для обработки материалов: Справочник. М.: Машиностроение, 1984. 224 с.
2. Караулов А. К., Романов В. С. Структурно-энергетические аспекты трибохимических процессов. Киев: Общество «Знание», УССР, 1980. 28 с.
3. Курносков А. И., Юдин В. В. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. М.: Высшая школа, 1986. 367 с.
4. Лазюк Ю. Н. Особенности применения СОЖ в процессах механической обработки полупроводников

Теоретические и практические аспекты теории контактных взаимодействий при резании металлов. Чебоксары: Изд-во Чув. ГУ, 1988. С. 35—40.

5. Пичугин И. Г., Тапков Ю. М. Технология полупроводниковых приборов. М.: Высшая школа, 1984. 288 с.

6. Пронкин Н. Ф. Протягивание труднообрабатываемых материалов. М.: Машиностроение, 1978. 80 с.

7. Режимы резания труднообрабатываемых материалов: Справочник. М.: Машиностроение, 1976. 112 с.

8. Суворов А. А. Обработка деталей из вольфрама и его сплавов. М.: Машиностроение, 1978. 189 с.

9. Суворов А. А., Голдобин Н. Д. Диагностика функциональной активности технологических сред // Машиностроение. 1982. № 4. С. 42—44.

10. Ташлицкий Н. И., Турсунов З. М., Мирбабаев В. А. Исследование влияния СОЖ на стойкость торцовых фрез, оснащенных твердым сплавом ВК8, при обработке стали 12Х18Н10Т //

// Вестник машиностроения. 1981. № 6. С. 12—13.

11. Ташлицкий Н. И., Турсунов З. М., Мирбабаев В. А. Исследование влияния СОЖ на стойкость торцовых фрез, оснащенных твердым сплавом ВК8, при обработке хромоникелевого сплава ХН77ТЮР // Вестник машиностроения. 1981. № 4. С. 14—15.

12. Технологические свойства новых СОЖ для обработки резанием. Под ред. М. И. Клушина. М.: Машиностроение, 1979. 247 с.

13. Фетисова З. М., Зорев Н. Н. Обработка резанием тугоплавких сплавов. М.: Машиностроение, 1966. 225 с.

14. Худобин Л. В. Выбор и применение технологических жидкостей на операциях абразивной обработки: Алмазно-абразивная обработка в машиностроении // Материалы семинара. М.: МДНТП, 1982. С. 14—16

1. ХАРАКТЕРИСТИКА СОТС ДЛЯ ШЛИФОВАНИЯ

При шлифовании металлов обычно применяют водные и масляные (углеводородные) жидкости (СОЖ); газообразные, твердые и пластичные среды используют сравнительно редко.

Водные СОЖ дешевле и более широко распространены, чем масляные. Большая удельная теплоемкость и лучшая теплопроводность воды позволяют водным СОЖ быстрее отводить теплоту.

Водные СОЖ, подаваемые на шлифовальный круг под давлением 0,1—15 МПа, позволяют получить больший съем обрабатываемого металла за 1 мин.

Водные СОЖ: Укринол-1М, Аквол-2, Аквол-6, Аквол-10М, Аквол-11—рекомендуется применять при шлифовании деталей машин для улучшения качественных и экономических показателей процесса обработки. Оптимальная концентрация водной СОЖ зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала, выбранной операции, режимов обработки и колеблется от 1 до 10%.

Масляные СОЖ дольше сохраняют остроту режущих кромок абразивных зерен. Они обладают

высокими смазывающими, смачивающими и проникающими свойствами. Масляные СОЖ хорошо защищают рабочую поверхность круга от схватывания с обрабатываемым материалом. Уменьшение сил резания и тепловыделений при применении масляных СОЖ способствует снижению остаточных напряжений. Недостатки масляных СОЖ: несудоветворительные санитарно-гигиенические свойства; пожароопасность (имеют сравнительно низкую температуру вспышки); при шлифовании вокруг рабочей зоны создается масляный туман, который вреден для дыхательных путей и пожароопасен; при напряженных режимах резания масляные СОЖ дымят; для отсасывания масляного тумана необходимо иметь вентиляционные устройства.

Масляные СОЖ применяют при чистовом (тонком) шлифовании, при окончательной заточке инструмента кругами из электрокорунда и монокорунда и кругами из сверхтвердых материалов.

Использование масляных СОЖ при глубинном и профильном шлифовании позволяет повысить производительность обработки, увеличить стойкость инструмента, дольше сохранить профиль круга, уменьшить изнашивание инстру-

мента и криволинейность обрабатываемой поверхности круга, снижающей точность обработки и способствующей образованию волнистости на шлифованной поверхности. Однако часто применяют водные СОЖ вместо масляных, чтобы не ухудшать условия труда рабочих.

Газообразные СОТС и твердые смазки. В качестве газообразных СОТС применяют различные газы: нейтральные (азот, аргон, гелий) и активные кислородосодержащие (воздух, углекислый газ, кислород). В среде активных газов можно шлифовать специальные стали и сплавы, заточивать режущий инструмент из инструментальных сталей и твердых сплавов. Активные газы интенсифицируют окислительные процессы и образование защитных пленок, снижающих трение и закаливание круга. Шлифование деталей из стали Р6М5 кругом 24А25НСМ17К5 в трех газовых средах (воздухе, кислороде, азоте) показало, что в кислороде по сравнению с азотом коэффициент абразивного резания (отношение P_z/P_r) снижается в 2 раза, удельная работа (отношение затраченной работы к объему сошлифованного металла)—в 7—8 раз [9]. В среде кислорода стружка была получена в 5 раз мельче, чем на воздухе; на рабочей поверхности круга отсутствовали следы налипов, в шлеме не было абразивных частиц, что свидетельствует об уменьшении адгезионных процессов. При шлифовании в азоте и на воздухе обрабатываемый металл интенсивно налипал на вершины зерен, поры круга забивались шламом, относительная контактная площадь рабочей поверхности круга уве-

личивалась, на обработанной поверхности наблюдались прижоги по всей площади. Условия проведения испытаний на плоскошлифовальном станке мод. 3701: кислород и азот подавали под давлением 0,3 МПа; во избежание поступления воздуха из окружающей среды торцы круга заклеивали полиэтиленовой пленкой; кругом ПП 400×25×127 шлифовали образцы размером 10×10 мм; скорость круга 35 м/с; продольная подача—осциллирующая, с частотой 40 дв. ход/мин, что соответствует средней скорости подачи 1200 мм/мин; контактное время шлифования 3 мин; фиксированное значение радиальной составляющей силы резания $P_r=100$ Н; круг правили алмазом. Режим правки: скорость подачи 240 мм/мин; подача на ход 0,01 мм/ход.

Без применения СОЖ можно выполнять чистовое шлифование чугунов и сталей, чистовую заточку (доводку) алмазными и эльборовыми кругами на органических и керамических связках инструмента из быстрорежущих и других инструментальных сталей, закаленных до высокой твердости [3]. Шлифование на воздухе без применения СОЖ ухудшает санитарно-гигиенические условия работы станочников, так как происходит значительное искрение и запыление атмосферы; при этом необходимо обеспечить отсос мелких частиц.

Твердые смазки применяют при алмазно-абразивной обработке трудношлифуемых материалов: быстрорежущих сталей, твердых сплавов. Необходимость визуального контроля при заточке и доводке металлорежущих инструментов зачастую исключает приме-

нение СОЖ. Твердый смазочный материал можно наносить в процессе работы на шлифовальный круг без остановки станка через несколько циклов работы с помощью специальных устройств с микровинтом. На некоторых заводах твердые смазочные материалы применяют в виде карандашей диаметром 30 мм и длиной 120 мм, которые приготавливают из воска, олеиновой кислоты и хлористого аммония. Применение твердых и пластичных смазочных материалов уменьшает расход алмаза и эльбора и засаливание кругов, снижает шероховатость обработанной поверхности, увеличивает срок службы заточных кругов в 1,4—1,7 раза. Уменьшение температуры в зоне резания снижает вероятность образования прижогов и микротрещин, возникающих при заточке и доводке инструментов. Твердые смазочные материалы уменьшают интенсивность диффузионных процессов и схватывания, снижают налипание обрабатываемого материала на рабочую поверхность круга, изменяют характер изнашивания сверхтвердого материала.

2. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ВЫБОРА СОТС ДЛЯ ШЛИФОВАНИЯ

При выборе СОТС для шлифования необходимо учитывать большое количество факторов: химический состав обрабатываемого металла и характеристику шлифовального круга, метод обработки, режимы резания, требования к точности обработки и к качеству шлифованных поверхностей.

Следует учитывать также такие обстоятельства, как универсальность СОТС (возможность применения на различных операциях механической обработки), стоимость, эксплуатационные, санитарно-гигиенические и сопутствующие свойства: возможность транспортирования зимой, легкость приготовления в производственных условиях, стабильность, воздействие на краску и отсутствие отложений на подвижных частях станка, возможность разложения и регенерации. В ряде случаев СОТС поставляются только железнодорожными цистернами и для принятия их у потребителя должны быть специальные емкости.

Первоначально подбор СОТС целесообразно проводить по их химическому составу, физико-химическим и функциональным свойствам. Ряд обрабатываемых материалов накладывает определенные ограничения на выбор СОТС. Например, при обработке меди и медных сплавов нельзя применять СОТС, которые содержат активную серу; при обработке титана не используют СОТС с хлорсодержащими компонентами, при шлифовании магния — СОТС на водной основе. Для абразивной обработки мягких металлов следует подбирать СОЖ с улучшенными моющими свойствами, позволяющими избежать засаливания инструмента.

Различные методы абразивной обработки (шлифование плоское, круглое, бесцентровое, наружное, внутреннее и т. п.) отличаются временем и геометрией контакта (по линии или на поверхности) заготовки с абразивным инструментом, величиной силового воздействия и интенсивностью тепло-

вого потока. Соответственно изменяются требования к физико-химическим и функциональным свойствам СОЖ. Например, большая зона контакта шлифовального круга и заготовки предопределяет повышенные требования к проникающим, моющим и охлаждающим свойствам СОЖ.

В ряде случаев при наружном и внутреннем шлифовании одних и тех же деталей заводы вынуждены применять разные СОЖ. При шлифовании отверстий длина и время контакта рабочей поверхности круга с заготовкой больше, чем при наружном круглом шлифовании. Это приводит к более сильному нагреву зоны резания при внутреннем шлифовании и к большей опасности появления прижогов и трещин на обработанной поверхности. Улучшение смазывающих свойств СОЖ при внутреннем шлифовании приводит к проскальзыванию абразивных зерен в силу меньшей жесткости шпинделя. При шлифовании заготовок на плоскошлифовальных станках с магнитным столом применение СОЖ с хорошими смазывающими свойствами может привести к сдвигу заготовок при больших силах резания и сравнительно небольшой зоне контакта стола с заготовкой.

Влияние характеристики абразивного инструмента на выбор СОТС. С уменьшением зернистости абразивного инструмента снижается толщина стружки, срезаемая одним зерном, и возрастает влияние физико-химических процессов, происходящих на поверхностях контакта абразив—обрабатываемый материал, на выходные технологические параметры. Соответственно увеличивается влияние ПАВ, входящих в состав

СОТС, на протекание этих процессов. Этим объясняются специфика составов СОТС для абразивной обработки и нецелесообразность использования при лезвийной обработке ряда компонентов, показавших хорошие результаты при абразивной обработке. Чем меньше зернистость абразивного инструмента, тем выше требования к моющей способности СОТС, так как уменьшаются расстояния между зернами и размеры пор, которые легко забиваются шламом, состоящим из мелких частиц инструмента (карбидов и неметаллических включений), обрабатываемого материала и стружки. Чем меньше частицы шлама, тем легче они проникают в микронеровности на поверхности инструмента и заготовки, тем прочнее они там удерживаются электростатическими, Ван-дер-Ваальсовыми и механическими силами, способствуя засаливанию абразивного инструмента. С уменьшением зернистости ухудшаются смачивание и адсорбция компонентов СОЖ на рабочей поверхности абразивного инструмента и возрастает доля работы диспергирования обрабатываемого материала в общей работе по снятию припуска.

Зернистость абразивного инструмента влияет на процесс микрорезания и интенсивность пластического деформирования поверхностного слоя заготовки. Смачивающая способность жидкости оказывает большее влияние при меньшем размере зерен как при правке круга, так и при снятии припуска абразивным инструментом. Применение СОЖ с улучшенными смачивающими свойствами (например, ОСМ-1) в отличие от правки всухую обес-

печивает в начальный период шлифования уменьшение шероховатости по параметру Ra на 50%.

Состав СОЖ оказывает влияние на силы резания при абразивной обработке, причем степень этого влияния зависит от жесткости абразивного инструмента. Например, при круглом наружном шлифовании алмазными кругами 1A1 200×20×75×5 на эластичных связках различной жесткости заготовок из стали Р6М5 (60—62 HRC₂) установлено, что с уменьшением жесткости круга влияние СОЖ усиливается.

Испытывали три состава СОЖ: масло ОСМ-1, 3%-ную водомасляную эмульсию Укринол-1М и 3%-ный раствор синтетической водной СОЖ Аквол-10М. Сила P_z для круга зернистостью 80/63 на полужесткой связке Р8 изменялась в 1,05—1,25 раза при изменении СОЖ (в зависимости от скорости продольной подачи) и в 2,0—2,5 раза для круга на эластичной связке Р4. Сила P_z менялась незначительно. С уменьшением жесткости шлифовальных кругов эффективность вязких СОЖ возрастала. Аналогичные зависимости были получены при шлифовании титанового сплава ВТ1-0. При длительном контакте абразивного круга с СОЖ твердость круга снижается. По мере уменьшения твердости круга увеличивается его износ и уменьшается удельная мощность, затрачиваемая на шлифование. Так, при шлифовании закаленной стали ШХ15 кругами на вулканитовой связке повышение твердости круга на одну ступень по шкале твердости снижает объемный износ круга на 28%, уменьшает скорость съема на 15%, повышает удельную произ-

водительность на 18%. Разность износа кругов близких степеней твердости нивелируется уменьшением подачи круга. При работе на водных СОЖ твердость кругов на керамической связке с зернами из электрокорунда снижается на одну ступень по шкале твердости в течение первых двух часов работы и на две ступени при длительной эксплуатации. Наиболее сильно под воздействием СОЖ снижается твердость кругов на бакелитовой связке.

Повышение производительности процесса абразивной обработки. Применение эффективных составов СОЖ позволяет повысить интенсивность съема металла путем интенсификации режимов резания, сокращения количества и продолжительности правок шлифовального круга. Режущая способность абразивного инструмента зависит от физико-механических характеристик поверхностных слоев обрабатываемого металла, которые изменяются под влиянием высоких температур в зоне резания, в силу химического взаимодействия с компонентами и основами СОЖ, в результате адсорбционного пластифицирования (эффект Ребиндера). В качестве основы масляных СОЖ используются минеральные масла, которые состоят из парафиновых, наftenовых, ароматических, наftenово-ароматических углеводов. В зависимости от типа углеводов могут меняться производительность и качество обработки, что наглядно показали эксперименты японских исследователей, применявших наftenовые или парафиновые масла при ленточном шлифовании ферритной коррозионно-стойкой стали. Режущая способность и стой-

кость ленты зависела от состава СОЖ и режимов резания.

С повышением температуры прочность поверхностных слоев обрабатываемого металла снижается. При подборе охлаждающей способности СОЖ следует учитывать, что температура оказывает существенное влияние на процесс наростообразования. Увеличение температуры в зоне резания может привести к быстрому засаливанию круга.

Адгезионные характеристики системы абразивное зерно — обрабатываемый материал связаны с взаимодействием атомов, молекул и целых функциональных групп СОЖ со свежесформированными поверхностями заготовки и инструмента в зоне резания, с защитными свойствами граничных пленок. Образование наростов, приваривание стружки к абразивным зернам и наволакивание на них металла, засаливание круга ухудшают производительность и качество абразивной обработки. Адгезионное взаимодействие и засаливание абразивного инструмента снижаются с улучшением триботехнических характеристик СОЖ. На скорость засаливания инструмента влияют также моющие свойства. Введение в СОЖ присадок, содержащих кислород, способствует улучшению качества поверхностного слоя заготовки, повышению производительности обработки и стойкости шлифовальных кругов. Повышение концентрации растворенного кислорода интенсифицирует химические реакции, уменьшает адгезионное взаимодействие и засаливание шлифовальных кругов.

Влияние метода шлифования на выбор СОЖ. Для чернового шли-

фования сталей при жестких режимах обработки целесообразно применять водные СОЖ с серо-, хлор- и фосфорсодержащими присадками, уменьшающими адгезионное взаимодействие и силы трения. Эти СОЖ имеют лучшие охлаждающие свойства, чем масляные жидкости. Так, эмульсия Аквол-2 позволяет вести обработку при скоростном круглом наружном шлифовании колец подшипников с черновой поперечной подачей до 26 мм/мин и чистовой, не вызывающей прижогов подачей до 3,5 мм/мин. При внутреннем шлифовании черновая и чистовая подачи достигают соответственно 6 и 0,6 мм/мин. Традиционно применяемые СОЖ не позволяют шлифовать кольца подшипников на указанных режимах из-за осыпания и разрыва кругов, появления прижогов, неравномерного вращения обрабатываемых деталей на жестких опорах. Применение масляных СОЖ при бесцентровом шлифовании уменьшает шероховатость шлифованной поверхности, но в отличие от применения СОЖ на водной основе увеличивает некруглость, так как возрастает продольная подача и меняется скорость вращения детали.

В последние годы увеличился объем применения скоростного силового, глубинного шлифования. Эти методы во многих случаях позволяют не только повысить производительность шлифования, но и отказаться от лезвийной обработки: точения, фрезерования, протягивания.

При использовании указанных методов шлифования возрастают интенсивность тепловыделений и силы резания, увеличиваются вероятность появления прижогов

и микротрещин и износ шлифовальных кругов. При напряженных условиях шлифования (например, при резьбошлифовании) применяют вязкие масляные СОЖ с противоизносными, противозадирными и антифрикционными присадками типа МР-10. СОЖ с малой вязкостью (ОСМ-1, ОСМ-3, МР-3, МР-4) применяют для менее напряженных условий. С ужесточением режимов обработки необходимо увеличивать расход СОЖ, подавать в зону резания масла через сопла маленького диаметра под давлением до 12 МПа. Водные СОЖ с улучшенными триботехническими характеристиками (например, Аквол-2) подают под давлением 0,3 МПа. Струя СОЖ, подаваемая под большим давлением, хорошо охлаждает круг и обрабатываемую деталь и быстро вымывает стружку из зоны обработки.

Повышение точности абразивной обработки. Экономическая точность шлифования находится в пределах 6-го качества. Тонкое шлифование может обеспечить 4-й и 5-й качества. СОЖ влияет на точность обработки путем изменения температуры заготовки, режущей способности инструмента, амплитуды колебаний и величины сил резания, положения технологических баз заготовки при загрязнении базирующих поверхностей приспособлений вследствие недостаточной моющей способности СОЖ.

Температурные деформации детали уменьшаются при использовании водных СОЖ, обладающих лучшими охлаждающими свойствами. Однако низкая температура кипения водных СОЖ делает их неэффективными при высоких температурах в зоне резания. Не-

равномерный нагрев и быстрое увеличение объемов поверхностных слоев заготовки в процессе резания приводит к погрешностям формы шлифованной поверхности. Плоская поверхность становится вогнутой, на цилиндрической поверхности появляется волнистость.

Увеличение режущей способности абразивного инструмента, снижение сил резания путем подбора эффективных СОЖ способствуют повышению точности обработки. Эти явления могут происходить под влиянием нескольких факторов: вследствие адсорбционного понижения прочности поверхностных слоев обрабатываемого металла, создания более прочных граничных пленок на рабочих поверхностях зерен, уменьшения наростообразования и засаливания круга.

В большинстве случаев геометрические параметры рабочей части абразивного зерна имеют произвольную форму и нерациональные углы (передний, задний и т. п.). Работа, затрачиваемая на преодоление сил трения, во многих случаях составляет 85—90% суммарной работы шлифования. Поэтому улучшение триботехнических характеристик СОЖ снижает силы резания и амплитуду их колебаний, а следовательно, и деформацию заготовок. Амплитуда колебаний сил резания уменьшается при улучшении демпфирующих свойств СОЖ.

Основной способ улучшить демпфирующие свойства СОЖ — повысить их вязкость. Вязкость СОЖ возрастает при всестороннем ее сжатии в порах круга. Влияние вязкости жидкости и сил резания на точность обработки можно проследить при шлифова-

нии в центрах нежестких валов. При чистовом и тонком шлифовании радиальная сила шлифования P_r растет в случае перехода на углеводородные СОЖ, так как на этих режимах на значение P_r большое влияние оказывает гидродинамическая составляющая.

Загрязнение базирующих поверхностей приспособлений вызывает погрешность установки. Оно происходит в результате выпадения солей из СОЖ, при налипании на них шлама и в силу недостаточной моющей способности СОЖ или плохой ее фильтрации (вторичное загрязнение).

Высокие требования к точности абразивной обработки заставляют подшипниковые заводы применять содовый раствор, который, хотя и обладает плохими технологическими и санитарно-гигиеническими свойствами, имеет основное преимущество перед другими водными СОЖ — хорошую моющую способность. Хорошими моющими свойствами обладают и масляные СОЖ. Однако в них легче накапливается шлам, поэтому необходима более тщательная их фильтрация или добавление специальных компонентов, способствующих осаждению шлама (ранее для этой цели использовали керосин, но он пожароопасен).

Улучшение качества поверхностного слоя детали. СОЖ влияет на качество поверхностного слоя: шероховатость обработанной поверхности, величину и знак остаточных напряжений, наклеп. Качество обработанной поверхности ухудшается при усилении адгезионных связей между режущим и обрабатываемым материалами. Высокие температуры в зоне кон-

такта шлифовального круга и заготовки приводят к структурным превращениям в поверхностном слое, являются причиной образования трещин и прижогов на обработанной поверхности.

Для достижения низкой шероховатости обработанной поверхности целесообразно применять мелкозернистые круги и СОЖ на масляной основе, которые лучше смачивают рабочую поверхность круга и обрабатываемую поверхность, создают более прочные граничные пленки на абразивных зернах и обладают более сильным моющим действием.

Улучшение механических (реологических) факторов смазочного действия СОЖ путем увеличения кинематической вязкости СОЖ, подаваемой в зону резания поливом или контактным способом (высоковязкие масла подавать поливом невозможно), способствует утолщению смазочной пленки, приводит к существенному снижению шероховатости шлифованной поверхности, уменьшает радиальную и тангенциальную составляющие силы резания.

Демпфирующее действие СОЖ сказывается на амплитуде колебаний технологической системы. Амплитуда возникающих в процессе шлифования колебаний детали тем больше, чем ниже кинематическая вязкость одинаковых по химической активности масел. При применении масел амплитуда колебаний всегда меньше, чем при шлифовании с водными СОЖ. С увеличением времени выжигивания влияние состава СОЖ нивелируется.

Увеличение кинематической вязкости СОЖ с 5 до 40 м²/с уменьшило амплитуду колебаний

на 40—55%, а шероховатость поверхности до 70%. В отличие от масла И-40А масла И-100А и МС-20 ($v = (110 \div 115) 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$), которые наносились контактным способом в момент перехода на выхаживание, способствовали дальнейшему уменьшению шероховатости поверхности и амплитуды колебаний.

Шероховатость шлифованной поверхности уменьшается с улучшением смачивающих свойств СОЖ. Испытания, проведенные на плоскошлифовальном станке при обработке с определенным усилием прижима круга к детали, показали, что с уменьшением поверхностного натяжения шероховатость поверхности снижается, а производительность обработки увеличивается. Наиболее сильно шероховатость поверхности уменьшается при изменении поверхностного натяжения в интервале 40—45 мДж/м². Уменьшение поверхностного натяжения ниже 40 мДж/м² мало влияет на шероховатость поверхности, но заметно сказывается на производительности обработки.

Одним из эффективных методов снижения шероховатости шлифованной поверхности является использование в СОЖ компонентов, обладающих пластифицирующим действием.

К числу компонентов, широко применяющихся в СОЖ и оказывающих уже в небольшом количестве значительное влияние на качество шлифованной поверхности и силу резания, относится олеиновая кислота. Так, добавление к маслу И-20А 1,5%-ной олеиновой кислоты при алмазном шлифовании жаропрочной стали 13Х11Н2В2МФ-Ш уменьшило шероховатость шлифованной по-

верхности в 1,6 раза, удельный расход алмазов в 2,9 раза, снизило удельную мощность шлифования [6]. Остаточные напряжения в поверхностном слое детали зависят от технологических параметров обработки, сочетания условий пластического деформирования обрабатываемой поверхности и температуры, которые в значительной мере регулируются подбором эффективного состава СОЖ. Высокие температуры в зоне резания при обработке металлов, склонных к фазовым превращениям, вызывают структурные превращения, приводят к увеличению удельных объемов.

Даже кратковременные тепловые импульсы, имеющие температуру выше температуры фазового перехода (980 °С для α — γ -перехода в сталях, 882 °С для α — β -перехода в титановых сплавах), приводят к термообработке поверхностного слоя. Если скорость охлаждения с помощью СОЖ поверхностного слоя заготовки выше скорости его охлаждения при термической обработке, то происходит вторичная закалка, если ниже,— процесс отпуска.

При шлифовании закаленной стали быстрое охлаждение поверхностного слоя может привести к образованию мелкодисперсной структуры с глубиной залегания до 0,01 мм и значительной степенью наклепа. Сопоставление температуры и количества прижогов при распылении водной и масляной СОЖ, обладающих разным охлаждающим действием, при шлифовании профильных поверхностей абразивным кругом ПП 250×75×13 на плоскошлифовальном станке 3Е711В-1, оснащенном проектором, показало, что при использовании водной

СОЖ температура шлифования снижается в среднем на 65%, количество прижогов — на 50%. Масляная СОЖ снизила температуру на 23%, уменьшила количество прижогов на 30%. Подачу СОЖ поливом не применяют на шлифовальных станках с проектором, так как затрудняется визуальный контроль зоны контакта круга с заготовкой.

Подбор эффективных СОЖ, повышающих стойкость кругов. Улучшение противоизносных свойств СОЖ позволяет сократить частоту и припуск на правку кругов, увеличить общую стойкость и кромкостойкость кругов между правками. СОЖ с хорошими противоизносными свойствами обеспечивает формирование прочной граничной пленки при правке, что способствует снижению температуры и повышению общей стойкости правящего инструмента. Улучшение смазочных свойств СОЖ повышает общую стойкость карандашей из синтетических алмазов АС15 или АС32 в 1,5—2 раза.

Масляные СОЖ применяют при чистовом (тонком) шлифовании, при чистовой заточке инструмента кругами из электрокорунда и монокорунда и кругами из сверхтвердых материалов на органической и керамической связках. При круглом, плоском и бесцентровом черновом шлифовании деталей из коррозионно-стойких и инструментальных сталей и заточке кругами из электро- и монокорунда эффективно применение водной эмульсии с противоизносными присадками (например, 5—10%-ной эмульсии Аквол-6). При черновом шлифовании кругами из сверхтвердых материалов, обладающих высокой стой-

костью, применяют синтетические СОЖ (в частности, Аквол-10М).

Шлифование с разной скоростью резания показало, что с увеличением концентрации водной СОЖ от 2 до 20% износ круга снижается, если скорость круга меньше 85 м/с. При больших скоростях резания применять эмульсии концентрацией больше 10% нецелесообразно.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ИСПЫТАНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СОТС ДЛЯ ШЛИФОВАНИЯ

Большая номенклатура освоенных отечественной промышленностью марок СОТС, выпуск новых составов, необходимость их унификации вынуждают регулярно проводить испытания СОТС. Испытания СОТС на шлифовальных станках проводят для решения следующих задач: определения оптимальных составов (марок) для конкретных операций ранжирования СОТС по технологическим свойствам; исследования механизма действия СОТС; выявления математических зависимостей между отдельными параметрами и построения математических моделей; оценки качества СОТС.

При выборе состава СОТС для конкретной операции необходимо учитывать их физико-химические и функциональные свойства. Например, при выполнении обдирочного шлифования, при форсированных режимах резания большое значение имеют противоизносные и охлаждающие свойства СОТС. При глубинном и профильном шлифовании, выполнении чистовых операций, обработке точных деталей, когда не желательна час-

тая правка круга, доминирующее влияние оказывают противоизносные и моющие свойства, позволяющие в течение длительного времени сохранить профиль и хорошую режущую способность круга.

Оценку технологической эффективности новой СОТС проводят, сравнивая ее с эталонной технологической средой или по различным критериям, оценивающим качество, производительность и себестоимость обработки. Выбор критериев зависит от выполняемой операции. Для обдирочного шлифования в первую очередь учитывают возможность применения форсированных режимов резания, стойкость круга, расход сверхтвердых материалов. Для чистового шлифования сравнение СОТС проводят в первую очередь по параметрам, характеризующим качество обрабатываемой поверхности: геометрическим характеристикам, характеру и распределению остаточных напряжений и т. д.

Испытания новых СОЖ на технологическую эффективность при шлифовании проводят в несколько этапов. Первый этап—экспресс-испытания технологических свойств различных составов СОЖ в процессе шлифования. Исследование можно проводить как для заранее установленной номенклатуры шлифовальных кругов и обрабатываемых материалов, так и непосредственно для тех кругов и обрабатываемых материалов, для которых подбирается СОЖ. Второй этап—лабораторные испытания лучших составов в первую очередь на тех типах станков, на которых предполагается использование новых СОЖ в производстве. Третий этап—производственные испытания

СОЖ в цеховых условиях. Различные методы шлифования деталей на металлорежущих станках можно свести к двум типовым схемам, которые отличаются площадью контакта между обрабатываемой поверхностью заготовки и поверхностью шлифовального круга: по линии и поверхности.

В качестве эталонных при испытаниях синтетических СОЖ предлагается использовать 3%-ный водный раствор Аквол-10М, полусинтетических—3%-ный водный раствор Аквол-11, эмульсий—3%-ную водную эмульсию Укринол-1М, углеводородных СОЖ—масло ОСМ-1. Для испытания СОЖ рекомендуется выбирать материалы с учетом их обрабатываемости (табл. 1).

Достоверно выбрать оптимальный состав СОТС для конкретной операции можно только в процессе производственных испытаний на действующих в цехе станках и режимах резания, так как изменение характеристики круга, режимов резания или физико-механических свойств обрабатываемого материала может потребовать проведения новых испытаний.

Экспресс-испытания СОТС на шлифовальных станках. Экспресс-испытания СОТС обычно проводят на модернизированных шлифовальных станках. Например, экспресс-установка, изготовленная на базе заточного станка ЗА64Д, позволяет шлифовать образцы со скоростью круга 25—100 м/с и с заданной радиальной составляющей силы резания P_r . Закрепление кругов во фланцах дает возможность использовать обычные серийные абразивные круги после их механи-

1. Классификация материалов по обрабатываемости шлифованием [4]

Группа обрабатываемости	Обрабатываемый материал	Марка материала (типовой)	Коэффициент относительной обрабатываемости
I	Стали конструкционные и легированные хромом, никелем в сочетании с марганцем, кремнием, вольфрамом, титаном, молибденом, ванадием, инструментальные, углеродистые, а также высокопрочные и жаропрочные чугуны	45, 18Х2Н4МА, ХВГ, 30ХГСА, 3ВХ2МЮА, ШХ15, ШХ15СГ, У9, У13, 30Х3МФ, 40Х2Н2МА, 30ХН2МА, 5ХВ2СФ, ВЧ 38-17, ВЧ 80-2, ВЧ 120-2, АЧВ-1, ЧХ1	1,0
II	Стали конструкционные, легированные хромом и никелем	20, 40, 12ХН3А, 40Х2МА, 30ХН3А, 30ХРА, Х, 40Х, 50Х, 6ХС	0,75
III	Стали коррозионно-стойкие и жаропрочные	12Х13, 40Х13, 20Х17, Н2, 45Х14Н14В2М, 10Х11Н20Т2Р	0,45
IV	Жаропрочные никелевые и титановые сплавы	ХН77ТЮР, ХН62МВКЮ, ВТ1-00, ВТ16, ВТ22	0,30
V	Быстрорежущие стали	Р18, Р6М5	0,25
VI	Быстрорежущие стали	Р9, Р12Ф3, Р9М4К8, Р9К5	0,10
VII	Чугуны и бронзы	СЧ10, СЧ45, КЧ 33-8, АЧС-2, Бр010Ц2, БР03Ц7С5Н1	0,17

ческой обработки при скоростях резания 100 м/с и выше. Подача СОЖ осуществляется широким поливом с расходом 10—12 л/мин.

В Ульяновском политехническом институте разработан стенд для испытаний технологических свойств СОТС; предусмотрено закрепление образца для шлифования на связанном с электродвигателем штоке, на котором устанавливаются сменные грузы [А. с. 91.827 (СССР)].

Стенд для исследования влияния СОЖ на изнашивание абразивного инструмента описан в работе [12]. На шпинделе шлифовального станка устанавливают диск из закаленной стали. Абразивный сегмент, имеющий форму полусферы радиусом 25,4 мм, прижимают к периферии круга с заданной радиальной на-

грузки. На шпинделе шлифовального станка устанавливают диск из закаленной стали. Абразивный сегмент, имеющий форму полусферы радиусом 25,4 мм, прижимают к периферии круга с заданной радиальной на-

грузкой. Износ сегмента измеряют микрометром после 3 или 6 мин испытаний с применением различных СОЖ.

Отличительной чертой стенда для экспресс-испытаний СОЖ для шлифования, описанного ниже, является погружение обрабатываемого образца в ванну с СОЖ, что позволяет в несколько раз уменьшить объем СОЖ, необходимый для проведения исследований. Это важно при проведении испытаний вновь разрабатываемых составов и при необходимости проводить испытания большого количества составов. Конструкция стенда показана на рис. 1.

Шлифуемый образец 13 закреплен в коромысле 5, которое находится в ванне 14. Коромысло 5 может покачиваться относительно оси. Врезное шлифование выполняется периферией абразивного круга 1. Груз 7 через коромысло прижимает образец к абразивному кругу. Эксцентрик 8 прижимает массу груза, когда оператор прекращает обработку. Датчик 6 измеряет положение правого плеча коромысла, перемещающегося пропорционально глубине врезания круга в образец. Ванна 14 закреплена в динамометре 9 мод. УДМ-100, соединенном с усилителем 10 и миллиамперметрами 12, по показаниям которых определяют главную P_z и радиальную P_r составляющие силы резания. К усилителю 10 можно подключить автоматический самопишущий потенциометр 1. Восполнение разбрызгиваемой СОЖ происходит из резервуара 2 вместимостью 8—10 дм³ через кран 3 и патрубков 4. В донной части ванны имеется сливное отверстие со штуцером. Радиальное давление,

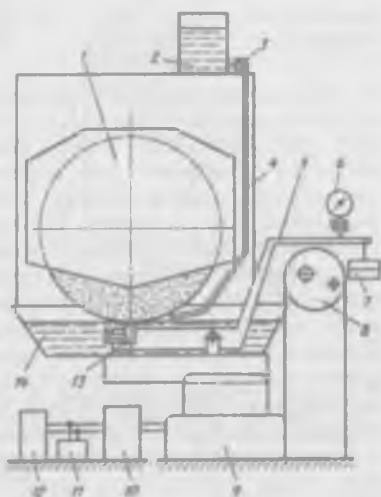


Рис. 1. Стенд для ускоренных испытаний СОЖ

прижимающее образец к кругу, зависит от груза 7 и размера зоны контакта круга с образцом. Слив СОЖ из ванны через штуцер позволяет избежать загрязнения жидкости. Объем сошлифованного металла определяется по перемещению правого плеча рычага коромысла. Для повышения жесткости технологической системы эксперименты, не связанные с измерением главной составляющей сил резания, целесообразно проводить при закреплении ванны на столе станка. Стенд предложенной конструкции может быть использован для оценки сопротивления сталей и сплавов абразивному изнашиванию при подборе эффективных марок шлифовальных кругов.

Ниже приведены основные результаты испытаний водных и масляных СОЖ на стенде. Исследования проводили на плоскошли-

фовальном станке мод. 3Г71М абразивным кругом ПП 250 × 25 × 75 25А40СМ26К5; в качестве обрабатываемого материала использовали сталь ШХ15, так как при обработке колец подшипников, обычно изготовленных из этой стали, велика доля шлифовальных операций. На машиностроительных заводах около 70% деталей шлифуют из сталей близкого к стали ШХ15 химического состава (детали приводов, гидронасосов и т. д.), которые имеют примерно такие же характеристики обрабатываемости. Размер образцов 60 × 25 × 5 мм, их твердость 62—65 HRC; размер зоны контакта круга с образцом 125 мм², скорость резания 27 м/с; радиальное давление, прижимающее образец к кругу, 0,46—1,5 МПа; минимальный шаг нагрузки 0,04 МПа. Правку круга проводили алмазно-металлическим карандашом ЦЗ перед каждым новым экспериментом. Режимы правки: четыре хода механической поперечной подачи с подачей на двойной ход $S_{\text{поп}} = 0,01$ мм/дв. ход. Испытания показали, что в зависимости от состава СОЖ производительность обработки, высота микронеровностей R_a , отношение P_z к P_y , максимальное радиальное давление, не вызывающее прижога обработанной поверхности при шлифовании закаленной стали ШХ15, могут изменяться в несколько раз. Значения этих параметров уменьшаются по мере затупления абразивных зерен, образования на них площадок износа.

Сразу после правки круг имеет наиболее высокую режущую способность. Часть зерен в процессе правки раскалывается, образуя

дополнительные режущие кромки. Стойкость шлифовального круга уменьшается с увеличением радиального давления. Испытания показали, что режущую способность круга целесообразно измерять при трех радиальных давлениях: максимальном, 0,77 и 0,46 МПа. Эффективные водные СОЖ позволяют шлифовать заготовки на более интенсивных режимах резания, чем масляные, не вызывая прижога обработанной поверхности, и при большем радиальном давлении. Например, при исследовании водных СОЖ (5%-ной эмульсии Укринол-1М, 5%-ного раствора Аквол-10М, 2,5%-ного раствора Тосол-ОИЗ) максимальное радиальное давление p_{ymax} , не вызывающее прижога шлифуемой поверхности, находилось в пределах 1,08—1,39 МПа и зависело от марки СОЖ. Для углеводородных СОЖ Укринол-14 и масла И-12А максимальное радиальное давление, не вызывающее прижога, было меньше и не превышало 0,98 МПа. Минимальное значение $p_{\text{ymax}} = 0,77$ МПа среди водных СОЖ было у 0,8%-ного содового раствора, что объясняется его низкими технологическими свойствами. Замена содового раствора указанными выше водными СОЖ при шлифовании колец подшипников позволяет на 25% и более сократить цикл обработки. Даже при радиальном давлении 0,77 МПа, которое значительно меньше p_{ymax} , при использовании большинства СОЖ происходило быстрое затупление круга. Через 2—3 мин работы круг сильно засаливался, на обработанной поверхности появлялся прижог в виде полосы шириной 10—15 мм. Более высокую производительность обработки в пер-

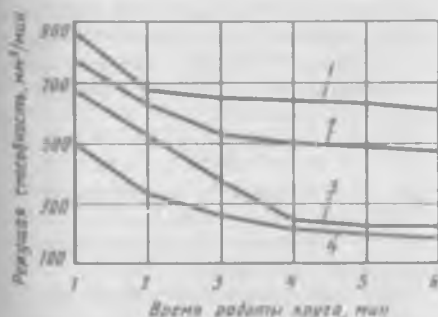


Рис. 2. Изменение минутного съема при шлифовании стали ШХ15 по мере затупления круга 25А40СМ26К5. Радиальная нагрузка $R_r = 0,76$ МПа. Составы СОЖ: 1—масло И-12А; 2—Укринол-1Н; 3—2,5%-ный раствор Тосол-ОИЗ; 4—5%-ная эмульсия Укринол-1

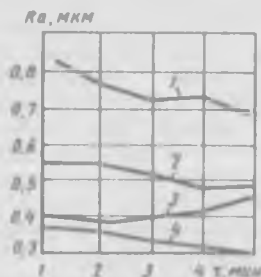


Рис. 3. Изменение минутного съема при шлифовании стали ШХ15 по мере затупления круга 25А40СМ26К5. Радиальная нагрузка $R_r = 0,46$ МПа. Составы СОЖ: 1—масло И-12А; 2—Укринол-14; 3—2,5%-ный раствор ТОСОЛ ОИЗ; 4—5%-ная эмульсия Укринол-1

вую минуту работы круга обеспечили водные СОЖ: 2,5%-ный раствор Тосол-ОИЗ, 2%-ная эмульсия Укринол-1М. При применении углеводородных СОЖ (Укринол-14, промышленное масло И-12А) режущая способность круга была ниже. При использовании как масляных, так и водных СОЖ через 2—3 мин работы круга производительность обработки снижалась в несколько раз. При уменьшении радиального давления до 0,46 МПа масляные СОЖ обеспечили лучшую режущую способность круга по сравнению с водными (рис. 2). Прижог на шлифованной поверхности не появлялся при продолжительной работе круга. Затупление режущих кромок, выкрашивание абразивных зерен по мере работы привели к уменьшению высоты микронеровностей (рис. 3). Засаливание круга при использовании масла И-12А сопровождалось уху-

дшением шероховатости шлифованной поверхности.

Лабораторные и производственные испытания СОТС. Такие испытания проводят систематически в связи с поставками нового оборудования и оснастки, поступлением новых марок СОТС. Лабораторные испытания по сравнению с производственными имеют следующие преимущества: исследователь может варьировать в широких пределах большим числом параметров: режимами резания, обрабатываемыми материалами, размером, характеристикой и формой кругов. Постоянные параметры, как правило, выдерживаются с меньшими отклонениями, что позволяет ранжировать СОЖ по большему числу технологических параметров, более точно определить область применения исследуемой СОТС.

Окончательную оценку эффективности новых СОТС дают на

основании широких производственных испытаний, которые по сравнению с лабораторными имеют следующие преимущества: уменьшаются затраты на оборудование, рабочую силу, обрабатываемый и инструментальный материалы; длительные испытания позволяют более полно оценить технологические и сопутствующие свойства СОЖ.

Выбор операции для проведения испытаний СОЖ. Для сокращения длительности испытаний и уменьшения материальных затрат целесообразно выбирать операции с наибольшей стойкостью круга, значительным размером зоны контакта круга с деталью и максимальным износом круга. В зависимости от поставленной задачи испытания проводят на операциях чернового или чистового шлифования. На операциях чернового шлифования основное внимание уделяют исследованию возможности применения форсированных режимов резания, повышению стойкости абразивных кругов (СОЖ для чернового шлифования часто содержит противозадирные серо- и хлорсодержащие присадки). При испытании СОЖ для чистового шлифования в первую очередь контролируют продольную и поперечную шероховатость, остаточные напряжения, наклеп, температуру в зоне резания. На результаты испытаний оказывает влияние способ базирования детали (в центрах, на жестких опорах и т. п.) и метод шлифования (плоское, круглое, наружное, внутреннее и т. д.).

Условия проведения испытаний. При проведении испытаний СОЖ станок и технологическая оснастка должны быть в исправном состоянии и отвечать соответ-

ствующим ГОСТам и ТУ. В первом приближении состояние станка и оснастки можно оценить по коэффициенту вариации исследуемого параметра:

$$v = \sigma / \bar{x},$$

где σ — среднее квадратическое отклонение исследуемого параметра; $\bar{x}$ — среднее арифметическое значение параметра.

Целесообразно обеспечить минимальный разброс состава и свойств абразивного материала, периодически проверять химический состав и физико-механические свойства заготовок. Следует соблюдать ТУ на приготовление и эксплуатацию СОЖ, периодически контролировать ее концентрацию и качество. Необходимо предусмотреть применение специальных фильтров и сепараторов для эффективной очистки СОЖ. Увеличение размеров и количества твердых частиц в СОЖ уменьшает стойкость шлифовальных кругов, ухудшает шероховатость обработанной поверхности, способствует появлению штриховых прижогов на обработанной поверхности.

Испытания новых СОЖ проводят как на режимах, принятых в производстве, так и на повышенных. Производственные испытания следует выполнять без нарушения нормальной работы инструмента и станка. Если есть возможность, то производственные испытания проводят на двух одинаковых станках, которые периодически заливают разными СОЖ. При длительных производственных испытаниях могут появиться систематические ошибки вследствие изменений наладки оборудования, квалификации наладчиков и станочников, поэтому

следует периодически проводить эталонные испытания, число которых надо ограничить пятью — восемью повторениями. Испытания нужно выполнять по многоуровневому факторному плану. В качестве обрабатываемого материала обычно используют стали и сплавы, для которых будут применены СОЖ, или закаленную подшипниковую сталь ШХ15.

Критерии оценки эффективности СОТС для шлифования. Для оценки эффективности СОТС при сравнительных испытаниях на металлорежущих станках используют следующие параметры: 1) максимально допустимую (критическую) подачу при снятии заданного объема обрабатываемого металла (припуска), не вызывающую катастрофического износа абразивного инструмента, прижога обработанной поверхности или огранки (мм/мин или мм/ход); 2) режущую способность абразивного инструмента* (при максимально допустимой или определенной подаче или радиальной составляющей силы резания), определяемую по отношению наработки абразивного инструмента к времени резания (г/с или мм³/с); 4) коэффициент шлифования*—отношение наработки к износу абразивного инструмента (различают по массе, объему, площади); 5) удельный расход алмаза (ГОСТ 14706—78)—отношение массы израсходованного алмаза к объему снятого обрабатываемого материала (мг/см³); 6) коэффициент режущей способности круга—отношение

объема снятого обрабатываемого материала к длительности обработки и к радиальной составляющей силы резания (мм³/(с·Н)); 7) период стойкости абразивного инструмента*—время работы абразивного инструмента между двумя последовательными правками, в течение которого он сохраняет заданные свойства (с); 8) минимальную величину компенсации—минимальную толщину слоя абразивного инструмента, снимаемого в процессе правки (мкм); 9) износ круга по диаметру (мкм); 10) линейную скорость изнашивания круга (мкм/с); 11) глубину наклепа (мкм); 12) шероховатость обработанной поверхности (в большинстве случаев измеряется продольное и поперечное направление неровностей); 13) наклеп на обработанной поверхности (МПа); 14) количество остаточного аустенита при шлифовании легированных сталей; 15) относительную площадь прижогов F_n/F на шлифованной поверхности—отношение площадей структурно измененного участка к общей площади обработанной поверхности; 16) температуру в зоне контакта круга с деталью (°С); 17) распределение остаточных напряжений в поверхностном слое, глубину их зажигания, величину и знак; 18) радиальную P_r и главную P_z составляющие силы резания (Н); 19) коэффициент абразивного резания—отношение P_r/P_z ; 20) максимальную радиальную составляющую силы резания $P_{r\max}$, не вызывающую прижога обрабатываемой поверхности (Н); 21) силу тока или мощность, потребляемую шпинделем станка (А или кВт); 22)

* Термины предусмотрены ГОСТ 21445—84.

удельную работу шлифования — отношение затраченной работы к объему снятого обрабатываемого материала (Дж мм^3); 23) удельную мощность шлифования (Вт/мм^3); 24) амплитуду колебаний круга и детали (мкм); 25) основное технологическое время (мин); 26) себестоимость обработки (руб.); 27) себестоимость шлифования в пересчете на единицу объема снятого обрабатываемого материала (руб мм^3); 28) объем доливаемой ежедневно СОЖ (л).

Иногда параметры 2, 4—6 рассматривают относительно единицы длины режущей поверхности круга.

4. СОЖ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ АБРАЗИВНЫМИ КРУГАМИ

На шлифовальных станках применяют около сотни составов СОЖ. Себестоимость и производительность обработки, качество обработанной поверхности, стойкость и износ абразивных кругов при использовании различных СОЖ колеблются в значительных пределах. Широкое применение лучших составов сдерживается их дефицитностью и недостаточной осведомленностью потребителей о рациональной области применения.

К числу лучших СОЖ, позволяющих шлифовать на высоких скоростях чугуны, конструкционные углеродистые и легированные стали, твердый сплав и титан, относятся синтетическая СОЖ Аквол-10М (см. табл. 17, 18 этой главы). Полусинтетическую водную СОЖ Аквол-11 рекомендуют применять для шлифования углеродистых и легированных сталей, алюминиевых сплавов.

К числу наиболее перспективных полусинтетических СОЖ, содержащих противоизносные и противозадирные присадки, относятся Аквол-15, Аквапол-1. Они предназначены для абразивной обработки труднообрабатываемых сталей и сплавов. Например, 2—5%-ная эмульсия Укринол-1М хорошо зарекомендовала себя при абразивной обработке цветных и черных металлов: 5—10%-ные эмульсии Аквол-2 и Аквол-6 рекомендуют для шлифования закаленных сталей и сплавов на высоких скоростях (60—80 м/с) с большим съемом обрабатываемого металла. В состав этих эмульсий входят серо- и хлорсодержащие противоизносные и противозадирные присадки, которые эффективны при напряженных режимах обработки, на операциях чернового и профильного шлифования. Например, 5—10%-ная эмульсия Аквол-6 содержит активный хлор. Ее целесообразно использовать при круглом, плоском и бесцентровом шлифовании коррозионно-стойких инструментальных и закаленных сталей кругами из электро- и монокорунда.

При чистовом и тонком шлифовании применение масляных СОЖ обеспечивает высокое качество деталей. Масляные СОЖ с противоизносными и противозадирными присадками типа МР-10 эффективны при шлифовании коррозионно-стойких сталей аустенитного класса. Масляные СОЖ МР-2у, ОСМ-3 применяют при шлифовании магниевых сплавов; 5—10%-ные растворы концентрата МР-99 в индустриальном масле применяют при шлифовании труднообрабатываемых материалов. Большую концентрацию рекомендуется использовать

для более жестких условий обработки.

Введение в СОЖ присадок, содержащих кислород, способствует улучшению качества поверхностного слоя заготовки, повышению производительности обработки и стойкости шлифовальных кругов. Повышение концентрации растворенного кислорода интенсифицирует химические реакции, уменьшает адгезионное взаимодействие и засаливание шлифовальных кругов.

Наилучших результатов при шлифовании железа и низкоуглеродистых сталей достигают при использовании СОЖ, содержащих жирные кислоты, которые образуют в зоне контакта абразивных зерен с металлом пленку металлического мыла. Жирные кислоты могут быть применены в композиции с серо- и хлорсодержащими присадками. В условиях высоких температур и давлений эти соединения образуют на поверхности резания граничные пленки с высокой прочностью на сжатие и сравнительно небольшим сопротивлением сдвигу. При обработке коррозионно-стойких и жаропрочных сталей применение жирных кислот менее эффективно, так как окисные пленки этих металлов обладают повышенной кислотностью и затрудняют образование металлического мыла.

Во время обработки конструкционных и легированных сталей на плоскошлифовальных станках с магнитным столом при применении эмульсий и масел может происходить сдвиг заготовок под действием сил резания. На этих станках хорошо зарекомендовал себя 2,5%-ный водный раствор Тосол-ОИЗ с добавкой 0,1—0,5% уротропина. Добавка уротропина

улучшает моющие свойства СОЖ, позволяет эксплуатировать раствор в течение более длительного времени.

При плоском, круглом внутреннем и наружном шлифовании конструкционных сталей и труднообрабатываемых материалов применяют эмульсии ЭГТ, ЭТ-2, НГЛ-205. По технологическим и сопутствующим свойствам они уступают эмульсиям серий Аквол и Укрипол. В состав эмульсола НГЛ-205 входит сульфонат натрия, малая сольбирующая и диспергирующая способность которого не обеспечивает полной стабилизации пассивирующих добавок в масляном объеме. Выпадение осадков затрудняет хранение и эксплуатацию этих СОЖ. Существенным недостатком эмульсии ЭГТ является склонность к микробиологическому поражению, особенно в летнее время. Введение бактерицидных добавок (например, фурацилина) не обеспечивает защиты этой СОЖ.

Влияние СОЖ на удельную работу шлифования $A_{уд}$ и коэффициент режущей способности круга $K_{р.к}$ приведены в табл. 2.

Влияние эмульсии Укрипол-1 (в числителе) и индустриального масла И-12А (в знаменателе) на коэффициент абразивного резания K_a при обработке некоторых металлов следующее: для высокопрочного чугуна 53—56 HRC, $K_a = 0,4/0,33$; для конструкционной стали 40ХГНМ (53—55 HRC), $K_a = 0,46/0,38$.

Использование 3%-ного водного раствора полусинтетической СОЖ Аквол-11 при шлифовании колец подшипников из стали ШХ15 дало возможность увеличить стойкость абразивных кругов в 2,5 раза по сравнению со слу-

2. Влияние СОЖ на удельную работу шлифования $A_{\text{ш}}$ и коэффициент режущей способности круга $K_{\text{р.к}}$ [9]

СОЖ	$A_{\text{ш}}$	$K_{\text{р.к}}$
Водные растворы:		
1,5%-ные препараты КНФ	2,72	0,34
2%-ный Тосол-ОИЗ	2,61	0,36
эмульсия Укринол-1	2,03	0,44
Масла:		
ОСМ-1	0,82	1,03
И-12А	0,55	1,22
ЛЗ-СОЖ-1 ПИО	0,51	1,28
Укринол-14	0,44	1,4
Без охлаждения	1	1

чаем применения содового раствора с добавкой тринатрийфосфата (сода кальцинированная 0,8%; нитрит натрия 0,25%; тринатрийфосфат 0,3%; вода — остальное). Аквол-2 в этих условиях повысил стойкость кругов в 2 раза.

Масляные СОЖ при шлифовании отверстий малых диаметров позволяют получить $Ra = 0,16$ мкм. Хорошие результаты при обработке легированных сталей на круглошлифовальных, бесцентровых внутришлифовальных станках показывает 1—2,5%-ный водный раствор Олинол-1. Применение моюще-консервационного раствора Олинол-1 при шлифовании закаленной стали ШХ15 (62—65 HRC) позволяет по сравнению с содовым раствором уменьшить в 1,5—2 раза шероховатость обработанной поверхности, снизить износ абразивных кругов.

На операциях плоского шлифования алюминиевого сплава Д16 водорастворимая полусинтетическая СОЖ Аквол-11 6%-ной концентрации позволяет избежать засаливания электрокорундового

круга, которое наблюдается при работе с 5%-ной эмульсией ЭГТ. Эффективность действия СОЖ Аквол-11 при обработке алюминия и его сплавов объясняется ее хорошими моющими, проникающими и охлаждающими свойствами.

При использовании 3—5%-ного раствора водной СОЖ Аквол-10М на операции шлифования торцов поршневых колец получены те же результаты, что и при использовании керосиново-масляных смесей. Однако при внедрении новой СОЖ ее концентрация была повышена до 10%, чтобы обеспечить защиту деталей от коррозии.

Хорошо зарекомендовал себя 5%-ный раствор Аквол-10М при шлифовании магнитомягких материалов — пермалловых сплавов и ферритов, которые широко применяют во многих радиоэлектронных приборах, в том числе в устройствах магнитной записи (для магнитных головок). Образцы из пермаллоя шлифовали на плоскошлифовальном станке 3ГТ71 со скоростью 35 м/с; снимаемый припуск 0,1 мм; скорость стола 11 м/мин; подача на двойной ход $S_{2\lambda}$ варьировалась от 0,005 до 0,02 мм/дв. ход. При применении новой СОЖ по сравнению с базовой водной СОЖ, содержащей 2% эмульсола ЭТ-2, 0,025% смачивателя ОП-7, 0,2% нитрита натрия и 0,2% триэтилоламина, шероховатость поверхности уменьшилась при $S_{2\lambda} = 0,005$ мм/дв. ход на 26% (с $Ra = 0,47$ до $Ra = 0,35$ мкм), микротвердость снизилась на 5%. Наименьшие остаточные напряжения обеспечила 5%-ная эмульсия Укринол-1. Растягивающие напряжения на поверхности уменьши-

лись до 330 МПа. Наименьшую шероховатость поверхности ($Ra=0,42$ мкм) при $S_{2\lambda}=0,22$ мм дв. ход обеспечила 5%-ная эмульсия НГЛ-205. При применении базовой СОЖ $Ra=0,49$ мкм. Опытно-промышленные испытания 2,5%-ного раствора Аквол-10 на операции шлифования плоскости разьема сердечников универсальных магнитных головок из пермаллоя 81НМА показали, что применение новой СОЖ уменьшило шероховатость обработанной поверхности на 30% (с $Ra=0,94$ до $Ra=0,65$ мкм). ЭДС магнитных головок с сердечниками, обработанными с использованием новой СОЖ, возросла на 10% (с 0,38 до 0,426 мВ).

Масляные СОЖ ОСМ-1 и Укринол-14 хорошо зарекомендовали себя при шлифовании коррозионно-стойких сталей 20Х13 и 12Х18Н9Т; их сравнивали с водными СОЖ Аквол-6 и Аквол-10М 5%-ной концентрации. Обработывали шейки валов диаметром 40—60 мм и длиной 10 мм электрокорундовым кругом ПП 250 × 20 × 75 33А16НСМ17К5. Критическую поперечную подачу $S_{\text{поп}}$ круга определяли по видимым следам вибраций. Примене-

ние Укринол-14 и ОСМ-1 при шлифовании стали 20Х13 (в состоянии поставки) дает возможность увеличить критическую поперечную подачу на 65—76%, а режущую способность круга на 50—63%. Аквол-6 по сравнению с Аквол-10М позволяет увеличить критическую поперечную подачу на 20%, производительность обработки на 12%.

СОТС для шлифования быстрорежущих сталей. Быстрорежущие стали имеют высокую твердость, прочность, износостойкость, но обладают пониженной шлифуемостью, чувствительны к перегреву и склонны к обезуглероживанию. Если при шлифовании быстрорежущей стали температура в зоне резания превышает допустимую, то в поверхностном слое толщиной 0,1—0,2 мм происходит распад мартенсита, количество остаточного аустенита достигает предельно допустимой нормы (свыше 20%) и образуется дисперсная ферритно-карбидная структура с пониженной на 30—40% микротвердостью. При шлифовании быстрорежущей стали применяют СОЖ Укринол-1, Аквол-2, Аквол-6, Аквол-10М и др. (см. табл. 17, 18 этой главы).

3. Параметры процесса шлифования быстрорежущих сталей абразивным кругом 24А25НСМ17К5 [9]

Быстрорежущая сталь	Твердость стали HRC,	K_s	F_n/F
P18	64—65	0,37/0,31	0/0
P6M4	65—66	0,35/0,28	0/20
P10M4Ф3К10	67,0—67,5	0,33/0,25	20/70

Примечание. В числителе приведены значения для эмульсии Укринол-1, в знаменателе — для масла И-12А.

В табл. 3 приведены значения коэффициента абразивного резания K_a и относительной площади прижогов F_a/F при шлифовании быстрорежущих сталей с применением эмульсии Укринол-1 и индустриального масла И-12А.

Влияние СОЖ на коэффициент трения μ абразива определяли на затупленном круге 24А50НС25К21:

СОЖ	..Эмульсия	Масло	Без охлаждения
μ	0,29— —0,26	0,22— —0,20	0,34— —0,30

Увеличение расхода СОЖ снижает коэффициент трения на 10—20%. Плоское шлифование быстрорежущих сталей с повышенным содержанием ванадия (типа Р10М4Ф3К10) рекомендуется осуществлять с максимально допустимой продольной передачей, а скорость круга и глубину резания назначать согласно табл. 4.

При силовом и профильном шлифовании быстрорежущих сталей и труднообрабатываемых материалов, при вышлифовке канавок сверл, метчиков, при шлифовании резьбы целесообразно применять масляную СОЖ МР-10. Она внедрена на многих маши-

ностроительных заводах. Так, при круглом врезном шлифовании заготовок из инструментальной стали Р9Ф5 (61—63 HRC,) на станке 3Б153 она показала хорошие результаты в сравнении с ранее выпускаемой СОЖ Укринол-14 и СОЖ Sungrind 602В-330 WS (США). Условия проведения испытаний: шлифовальный круг ПП 400 × 25 × 203 24А25НСМ26К5; режимы резания: скорость круга 30—60 м/с; окружная скорость детали 30—60 м/мин; подача 0,5 мм/мин. Перед каждым опытом круг правили алмазным карандашом. СОЖ подавали поливом (расход 45 л/мин).

При использовании СОЖ МР-10 коэффициент шлифования был в 1,1—1,3 раза выше, чем при применении других СОЖ. Круг засаливался значительно меньше, а на обработанной поверхности отсутствовали прижоги. При применении СОЖ МР-10 составляющие силы шлифования и шероховатость поверхности были меньше, чем при использовании других жидкостей (табл. 5).

Наряду с СОЖ Укринол-14 высокую эффективность обработки при малой удельной работе шлифования обеспечивает масляная

4. Влияние СОЖ на рекомендуемые значения скорости круга $v_{кр}$ и глубину резания t при плоском шлифовании быстрорежущих сталей с повышенным содержанием ванадия [9]

СОЖ	Шлифование			
	чистовое		черновое	
	$v_{кр}$, м/с	t , мм дв. ход	$v_{кр}$, м/с	t , мм дв. ход
Укринол-1	35—40	0,012—0,220	26	0,04—0,05
Масло И-20А	25—30	0,026—0,033	22	0,035—0,045
Без охлаждения	30—35	0,013—0,018	20	0,03—0,04

5. Влияние СОЖ на составляющие силы шлифования и на шероховатость обработанной поверхности [1]

СОЖ	v , м/с	P_p , Н	P_z , Н	Ra , мкм
MP-10	30	270	51	0,85
	45	288	50	0,88
	60	275	48	0,85
Укринол-14	30	370	58	0,93
	45	400	67	0,88
	60	416	69	0,86
Sung grind 602B-330 WS	30	303	60	0,93
	45	305	51	1,15
	60	330	49	0,78

СОЖ ЛЗ-СОЖ1 МИО с химически активными присадками [9]. При заточке зубофрезерных головок хорошо зарекомендовала себя СОЖ МР-2у, которая по сравнению с индустриальным маслом позволяет увеличить подачу в 1,3 раза без образования прижогов [3].

СОЖ для шлифования деталей из титановых сплавов и жаропрочных сталей. Титановые сплавы и жаростойкие стали все шире применяются в машиностроении благодаря их высоким конструкционным свойствам: прочности, коррозионной стойкости. Однако эти материалы отличаются пониженной шлифуемостью. Возникновение высоких температур, большие тепловыделения при шлифовании этих сталей и сплавов обусловлены их низкой теплопроводностью, которая в основном зависит от количества алюминия. При содержании алюминия в титановых сплавах около 4% их коэффициент теплопроводности близок к теплопроводности жаропрочных сталей и находится в пределах 8,37—9,63 Вт/(м·К),

что примерно в 4 раза меньше, чем у железа.

При шлифовании деталей из титана кругами из карбида кремния на некоторых операциях охлаждение не применяют, например при шлифовании турбинных лопаток.

При применении водных СОЖ хорошо зарекомендовал себя 4%-ный раствор фосфорно-кислого трехзамещенного калия (натрия), который уменьшает износ абразивных кругов в 3 раза, а шероховатость поверхности в 1,5 раза по сравнению с эмульсией ЭГТ или содовым раствором.

При использовании масляных СОЖ добавка 2—4% присадки Хлорф-40 (дибутиловый эфир трихлорметилфосфиновой кислоты) в масло позволяет в 10 раз уменьшить интенсивность изнашивания круга и обеспечивает минимальную шероховатость поверхности ($Ra=0,25-0,32$ мкм). При жестких режимах резания и подаче СОЖ поливом масляные жидкости не обеспечивают необходимого охлаждения зоны резания (например, при глубине реза-

6. Влияние условий шлифования на микротвердость поверхностного слоя

СОЖ	Концентрация, мас. доля, %	ВТ22 (320—340 НВ)				
		$S_{\text{пол}}$ мм/мин	H_p , МПа			
			I	II	III	IV
ЭГТ	3	0,55	3000	3020	2950	2600
Аквапол-1	5	0,80	2970	2910	2990	2660
Аквол-10М	3	0,60	2930	2810	3000	2600
Аквол-11	3	0,50	2960	3000	3040	2600
Аквол-6	5	0,60	2830	2920	3030	2600
Синтал 2/3	3	0,45	2780	2850	2940	2600
РЗ-СОЖ 8	3	0,55	2930	2840	2880	2600
Аквол-15	3	0,55	3050	2940	2840	2600
Аквол-2	5	0,50	2950	2830	2810	2600
Укринол-1М при подаче способом:	3					
первым		0,60	2850	2800	2840	2600
вторым		0,75	2870	2910	2980	2600
третьим		0,95	2880	2850	2050	2600

Примечание. H_p — микротвердость, измеренная на глубине 50 (I), 100 (II).

ния более 0,01 мм при обработке на плоскошлифовальных станках), в этом случае следует применять водные СОЖ.

Если черновое и чистовое шлифование выполняют на разных станках, то для черновой обработки следует применять водную СОЖ, а для чистовой — масляную. При шлифовании жаропрочных сталей и титановых сплавов кругами из карбида кремния можно применять те же СОЖ, что и при обработке кругами из алмаза или эльбора (см. табл. 17, 18 этой главы).

Влияние состава СОЖ на микротвердость поверхностного слоя и максимальную величину поперечной подачи $S_{\text{пол}}$ абразивного круга из карбида кремния, обеспечивающей отсутствие прижогов при круглом наружном шлифо-

вании заготовок из титановых сплавов ВТ22, ВТ3-1 и ОТ4-1, относящихся к различным группам шлифуемости, приведено в табл. 6. Условия обработки: круг ПП 600 × 50 × 305 64С25НСМ26К3; правка круга алмазным карандашом СЗ (три прохода со скоростью съема припуска 0,03 мм/ход); диаметр заготовок 60 мм; ширина шлифования 15 мм; снимаемый припуск 0,2 мм; скорость продольной подачи 0,25 м/мин; скорость круга 35 м/с; окружная скорость заготовки 35 м/мин; время выхаживания 5 с. СОЖ подавали в зону шлифования поливом, расход 0,8 л/мин на 1 мм ширины круга.

В зону шлифования подавали 3%-ную эмульсию Укринол-1М тремя способами: 1) поливом; 2) одновременно поливом и пода-

ЗАГОТОВКИ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

BT3-1 (300 HB)					OT4-1 (250—270 HB)				
$S_{\text{шп.}}$ мм/мин	H_R , МПа				$S_{\text{шп.}}$ мм/мин	H_R , МПа			
	I	II	III	IV		I	II	III	IV
0,40	2040	2060	2100	2120	0,35	1910	1800	1880	2080
0,55	2030	2090	2060	2120	0,45	1930	2010	1890	2080
0,70	2010	2080	2150	2120	0,40	1930	1890	1930	2080
0,50	2020	2060	2130	2120	0,35	1680	1780	1760	2080
0,65	2100	1930	2090	2120	0,45	1980	1850	1880	2080
0,55	1950	1980	2060	2120	0,40	1930	1970	1910	2080
0,45	1980	2080	1970	2120	0,40	1580	1640	1680	2080
0,60	2030	1990	1930	2120	0,50	1720	1660	1760	2080
0,45	2120	2170	2100	2120	0,35	1650	1660	1760	2080
0,70	2110	2100	2030	2120	0,60	1900	1890	1880	2080
0,85	2470	2610	2490	2120	0,70	2270	2140	2140	2080
1,10	2630	2670	2620	2120	0,85	2140	2080	2060	2080

200 (III) мкм от поверхности и в сердцевине (IV).

чей к торцу шлифовального круга через клиновой полуоткрытый насадок: 3) так же, как во втором случае, но при сообщении клиновому насадку ультразвуковых колебаний с частотой 18,6 кГц и амплитудой 5 мкм от УЗК-генератора УЗУ-025 мощностью 25 Вт. Суммарный расход СОЖ во всех случаях был постоянным.

Анализ результатов показывает, что при шлифовании высокопрочного сплава BT22 его поверхностный слой приобретает повышенную (по сравнению с сердцевиной) твердость, т. е. подвергается наклепу (степень наклепа 10—15%). Наклеп наблюдается на глубине до 0,2 мм. В микроструктуре поверхностного слоя деталей из сплава BT22 заметных изменений по сравнению со структурой сердцевины не обнаружено.

У сплава BT3-1 микротвердость поверхностного слоя при шлифовании не изменяется, несмотря на существенное увеличение $S_{\text{шп}}$ (от 0,4 до 0,7 мм/мин). Микроструктура поверхностного слоя и сердцевины различий также не имеют.

Хорошей шлифуемостью обладают сплавы титана с никелем (типа нитинола, содержащего 55—60% никеля). Эти сплавы обладают высокой прочностью и ударной вязкостью, коррозионной стойкостью. При шлифовании такого сплава кругом 62C25CM1K на станке 3Г71 с охлаждением 3%-ным содовым раствором удельная производительность достигала 14 мм³/мм³. Шероховатость поверхности $Ra=0,2$ мкм. Режимы обработки: продольная подача 10 м/мин, поперечная подача 0,2 мм/дв. ход, глубина резания 0,05 мм.

5. СОТС ДЛЯ ШЛИФОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ КРУГАМИ ИЗ СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ И ЭЛБОРА

Малые радиусы скругления, облегчающие процесс резания, большая твердость и прочность, хорошая теплопроводность зерен из синтетических сверхтвердых материалов позволяют эффективно использовать круги из синтетических алмазов и элбора для заточки и доводки твердосплавного инструмента, при шлифовании прецизионных деталей из углеродистых и легированных сталей, чугунов, жаропрочных сталей и сплавов.

Стойкость кругов из сверхтвердых материалов во много раз больше стойкости обычных абразивных кругов. Их применение при шлифовании деталей, имеющих высокую твердость, целесообразно в следующих случаях:

стойкость обычного абразивного круга недостаточна и не удается выдержать геометрические и точностные параметры обрабатываемой детали;

значительно сокращается время обработки, в частности несколько операций черного и чистового шлифования заменяется одной;

обычные круги не обеспечивают требуемого качества поверхностного слоя: имеют место прижоги, происходят структурные изменения, но получается требуемая микрогеометрия поверхности.

СОЖ для шлифования металлов кругами из элбора. При шлифовании кругами из элбора цилиндрических и плоских поверхностей деталей из конструктивных и легированных сталей, жаропрочных, магнитных, титановых сплавов рекомендуется применять 2—5%-

ный водный раствор синтетической СОЖ Аквол-10М. Хорошие результаты при шлифовании конструктивных углеродистых и легированных сталей показывают 3—5%-ная эмульсия Укринол-1, а при напряженных режимах резания 7—10%-ная эмульсия Аквол-2. При обработке легированных, жаропрочных сталей наряду с указанными выше высокую эффективность показывают 5—10%-ные эмульсии Аквол-6, РЗ-СОЖ 8, 3—5%-ный водный раствор СОЖ Аквол-11. Титановые сплавы хорошо шлифуются с использованием СОЖ Аквол-10М, Аквол-11, Укринол-1М, Аквол-6 (см. табл. 17 и 18 этой главы).

При высоких температурах (около 1000 °С) зерна элбора окисляются. На их поверхности образуются оксидные пленки B_2O_3 , снижающие адгезионные и диффузионные процессы при резании. Пары воды растворяют оксидную пленку, ускоряя окисление элбора. Уменьшить окислительный износ можно двумя способами: снижением интенсивности теплообразования в зоне шлифования и исключением воды из состава СОЖ. Масляные СОЖ применяют при фасонном, профильном, глубинном, резьбо- и зубошлифовании. При напряженных режимах резания высокую эффективность показывают СОЖ МР-1, МР-10, в менее напряженных условиях — маловязкие масла МР-3, МР-4, ОСМ-1, ОСМ-3.

Наряду с указанными выше СОЖ при шлифовании металлов кругами из элбора применяют эмульсии ЭГТ, НГЛ-205, СДМУ-2, растворы кальцинированной соды, триэтаноламина, триэтирийфосфата с различными добавками.

7. Составы СОЖ для обработки инструмента из быстрорежущей стали кругами из эльбора и кубонита [3]

Вид обработки	Связка круга	Состав СОЖ, мас. доля, %
Заточка *	Органическая КБ, БХ, Б156	Триэтианоламин—0,33; нитрит натрия—0,3; уротропин—0,1; вода—остальное
Шлифование отверстий инструмента *	Керамическая С10	Кальцинированная сода—1; нитрит натрия—0,8
Заточка **	Органическая	Триэтианоламин или тринатрийфосфат—0,6; ализариновое масло—0,5; азотистокислый натрий—0,25; бура—0,25; вода—остальное
Заточка **, в том числе глубинная	Металлическая	Азотно-кислый натрий—2; азотистокислый натрий—0,5; вода—остальное
		Азотистокислый натрий—0,4; триэтианоламин—0,6; вода—остальное
Круглое ** наружное шлифование	Металлическая	Азотистокислый натрий—0,5; азотно-кислый натрий—1; вода—остальное
Круглое ** наружное шлифование	Металлическая	Азотистокислый натрий—0,5; азотно-кислый натрий—1; вода—остальное
Круглое ** наружное шлифование	Металлическая	Нитрит натрия—0,4—0,5; триэтианоламин—0,5—0,6; вода—остальное

* Шлифование кругами из эльбора.

** Шлифование кругами из кубонита.

В качестве масляных СОЖ применяется чистое индустриальное масло (табл. 7). При заточке инструментов из быстрорежущей стали хорошо зарекомендовали себя эльборовые круги на металлической связке. Работоспособность этих кругов при использовании масла И-12А повышается в 5 раз по сравнению с работоспособностью кругов, работающих без СОЖ, и в 10 раз по сравнению с работоспособностью кругов на керамической и ор-

ганической связках при применении лучшей из исследованных СОЖ.

При круглом врезном шлифовании легированных сталей ШХ15 (61—64 HRC₂), Р6М3 (62—64 HRC₂), 9ХС (58—62 HRC₂) наилучшие результаты с точки зрения шероховатости и производительности показала масляная СОЖ ОСМ-1. Испытывали СОЖ различных классов: водные синтетические и полусинтетические, водомасляные эмульсии и масляные.

При шлифовании стали ШХ15 с использованием ОСМ-1 шероховатость поверхности составляла $Ra=0,43$ мкм, а при использовании 0,5%-ного содового раствора с добавкой 0,6% нитрита натрия шероховатость поверхности была наилучшей ($Ra=0,72$ мкм).

Масло ОСМ-1 обеспечило наилучшую работоспособность кругов. При снятии постоянного припуска (0,5 мм на диаметр) с использованием этой СОЖ максимально допустимая (критическая) поперечная подача возросла в 1,3—1,6 раза по сравнению с 1,5%-ным раствором кальцинированной соды. Кроме указанных выше составов испытывались СОЖ Аквол-10, Аквол-11, Укринол-1, триэтанолламин с добавками уротропина или глицерина, тринатрийфосфат с ализариновым или вазелиновым маслом. Испытания проводили на станке 3В110. Влияние состава СОЖ на коэффициент шлифования $K_{ш}$ и шероховатость поверхности Ra при обработке сплава ПГ-СР4 по ГОСТ 21448—75 (60—62 HRC₂), содержащего 72% никеля, при круглом врезном шлифовании валов диаметром 92 мм эльборовым кругом ЛОЛ20СМ2К8 100 с поперечной подачей 0,04 мм мин приведено в табл. 8.

8. Влияние СОЖ на коэффициент шлифования $K_{ш}$ и шероховатость поверхности Ra

СОЖ	$K_{ш}$	Ra , мкм
Укринол-14	760	0,38
3%-ный раствор	640	0,50
Аквол-10М		
4%-ная эмульсия ЭГТ	400	0,50

При резбошлифовании быстрорежущей стали кругами из эльбора на органической связке увеличение расхода СОЖ приводит к улучшению качества поверхности. При применении кругов на металлической связке такой пропорциональности не установлено. Низкоконцентрированные эмульсии вызывают появление прижогов при сравнительно непродолжительном времени работы круга на металлической или органической связке. Увеличение концентрации эмульсии уменьшает тепловые перегрузки, повышает качество поверхностного слоя, увеличивает стойкость кругов. Исследования проводили при шлифовании резьбы диаметром 42 мм и шагом 2 мм. Окружная скорость круга изменялась от 20 до 50 м/с. Удельный объем снимаемого металла изменялся от 500 до 4000 мм³/мм.

СОЖ для шлифования алмазными кругами. Выявлена высокая эффективность при шлифовании конструкционных и легированных сталей, чугуна, твердого сплава и других металлов 2—3%-ного водного раствора Аквол-10М. Хорошие результаты при шлифовании сталей показывают 2—5%-ная эмульсия Укринол-1, 7%-ная эмульсия Аквол-2, 5—10%-ная эмульсия Аквол-6, РЗ-СОЖ-8, 5—10%-ная эмульсия НГЛ-205 (применяется при шлифовании твердого сплава, титана и стекла). Для профильного, глубинного и резбошлифования конструкционных и легированных сталей целесообразно использовать масляные СОЖ МР-1у, МР-2у, МР-4, МР-10. При чистовом шлифовании кругами из синтетических алмазов на металлической связке применение масляных СОЖ неэф-

фективно. Использование масляных СОЖ взамен водных эмульсий с серо- и хлорсодержащими присадками для шлифования некоторых марок инструментальных сталей, жаропрочного сплава с высоким содержанием углерода и хрома, предназначенного для газовых турбин, уменьшает расход алмазных кругов примерно в 2 раза. Однако вследствие плохих санитарно-гигиенических условий работы с масляными СОЖ и их пожароопасности около 90% шлифовальных станков в странах Западной Европы работают с использованием СОЖ на водной основе.

СОЖ для шлифования твердого сплава алмазными кругами. На машиностроительных заводах в качестве СОЖ при алмазном шлифовании часто применяют водные растворы, содержащие кальцинированную соду, триэтаноламин, буру, глицерин, (табл. 9). Для заточки и шлифования твердосплавной части инструмента со стальной державкой кругами на керамической связке рекомендуют СОЖ, содержащую следующие компоненты, мас. доля, %: кальцинированную соду—1; триэтилоламин—1; буру—0,3.

Применение содовых растворов увеличивает шероховатость обработанной поверхности и расход алмазов. Однако их используют на машиностроительных заводах, так как они обладают хорошими моющими и охлаждающими свойствами и имеют низкую стоимость. Применение 3%-ного содового раствора при доводке твердого сплава ВК8 алмазными синтетическими чашечными кругами АС4-АС15 уменьшает температуру резания в 1,8—2 раза.

Использование водных СОЖ при

режиме обработки $v_{\text{пр}} = 30$ м/с, $S_{\text{пр}} = 0,5$ м/мин, $S_{\text{поп}} = 0,005$ мм/дв. ход позволяет шлифовать твердый сплав алмазными кругами при температуре в зоне резания ниже критической (500 °С). Выше этой температуры в твердом сплаве появляются трещины, происходят структурные изменения, образуются слои с пониженной твердостью. С увеличением относительной концентрации алмазных кругов с 50 до 200 и уменьшением зернистости температура резания снижается. При шлифовании твердого сплава абразивным кругом из карбида кремния зеленого на керамической связке на тех же подачах и с уменьшенной до 18,8 м/с скоростью круга температура резания неустойчива и в некоторые периоды времени превышает критическую.

При алмазном шлифовании цельнотвердосплавных резцов зуборезных головок кругами на органической связке хорошие результаты показала СОЖ, содержащая следующие компоненты, мас. доля, %: тринатрийфосфат—0,6; вазелиновое масло—0,05; буру—0,3; кальцинированную соду—0,25; нитрит натрия—0,1; воду—98,7. Для кругов на металлической связке рекомендуется СОЖ, в состав которой входят, мас. доля, %: триэтилоламин—0,4; нитрит натрия—0,4; тринатрийфосфат—0,3; сода кальцинированная—0,3; бура—0,5; смачиватель—ОП-7 или ОП-10-0,1; вода—98. СОЖ подается поливом с расходом 3—5 л/мин. Режимы шлифования для кругов на металлической связке: скорость круга 25—35 м/с; поперечная подача 1,0—2,0 мм/дв.ход; продольная подача 5—10 м/мин; глубина резания 0,02—0,03 мм.

9. Составы СОЖ для шлифования алмазными кругами деталей из твердого сплава [3, 13]

Номер состава	СОЖ	Содержа- ние, мас. доля, %	Шлифование			
			предварительное	чисто- вое	оконча- тельное	
Связка круга						
метал- личес- кая	органи- ческая	метал- личес- кая	органи- ческая			
1	Тринатрийфосфат Нитрит натрия Вода	1 0,25 98,75	+	—	+	—
2	Сода кальцинированная Тринатрийфосфат Нитрит натрия Бура Вода	0,25 0,25 0,25 0,25 99,0	+	—	+	—
3	Сода кальцинированная Тринатрийфосфат Нитрит натрия Бура Вазелиновое масло Вода	0,25 0,25 0,25 0,25 0,5 98,5	+	+	+	+
4	Триэтанолламин Нитрит натрия Глицерин Вода	1,0 0,4 0,6 98,0	—	—	+	+
5	Триэтанолламин Нитрит натрия Смачиватель ОП-7 или ОП-10 Вода	1,5 0,5 0,5 97,5	—	—	+	+
6	Триэтанолламин Нафтенное масло Вода	0,7 0,5 98,8	—	—	—	+

Продолжение табл. 9

Номер состава	СОЖ	Содержа- ние мас. доля, %	Шлифование			
			предварительное		чисто- вое	оконча- тельное
			Связка круга			
			метал- личес- кая	органи- ческая	метал- личес- кая	органи- ческая
7	Тринатрийфосфат Нитрит натрия Нафтеновое масло Вода	0,6 0,25 0,6 98,55	—	—	+	+
9	Триэтаноламин Нитрит натрия Тринатрийфосфат Сода кальцинированная Бура Смачиватель ОП-7 или ОП-10 Вода	0,4 0,4 0,3 0,3 0,1 0,1 98,0	—	—	+	+
9	Триэтаноламин Нитрит натрия Бензоат натрия Смачиватель ОП-7 или ОП-10 Вода	0,7 0,6 0,3 0,1 98,3	—	—	+	+
10	Сода кальцинированная Бура Мыло Спирт Вода	0,95 1,42 2,36 0,38 94,38	—	—	+	+
11	Тринатрийфосфат Ализариновое масло Бура Азотисто-кислый натрий Вода	0,6 0,5 0,25 0,25 98,4	—	+	—	+

Примечание. Знак «+» — использование рекомендуется, знак «—» — не рекомендуется.

10. Влияние СОЖ на расход алмазных кругов при шлифовании сплава КНТ

СОЖ	Концентрация, мас. доля, %	Относительный расход алмазов q , мг/г
Содовый раствор	3	1,9
Аквол-10М	10	1,15
Укринол-1	3	2,22
P3-СОЖ8	3	2,3
Аквол-2	3	1,46
	10	1,75

Для шлифования резьбы на тврдосплавных метчиках применяют круги А2П 350 × 203 × 60 АСП 60/40 М2-01 100. В качестве охлаждения используют масло И-12А. Режим обработки: при предварительном резьбошлифовании: $V_{кр} = 30 \div 35$ м/с; $V_{дет} = 0,4 \div 0,6$ м/мин; $S_{доп} = 0,05 \div 0,1$ мм/ход. При окончательном резьбошлифовании скорость круга и детали остаются

без изменения, а поперечная подача уменьшается до 0,02 мм/дв.ход.

При точении и фрезеровании углеродистых и низколегированных сталей и сплавов применяют напайные и многогранные пластины из безвольфрамовых твердых сплавов. Хорошие результаты с точки зрения расхода алмазных кругов при шлифовании сплава КНТ-16 обеспечивает 10%-ный водный раствор Аквол-10М. Использование эмульсий при алмазном шлифовании сплава КНТ-16 нецелесообразно, так как происходит интенсивное засаливание шлифовального круга, возникают слоистые отложения с налипшими на них мелкодисперсными частицами твердого сплава (табл. 10).

При алмазном шлифовании безвольфрамового твердого сплава на основе карбида титана ТН50 хорошие результаты показывают кислые и нейтральные среды (табл. 11).

11. Влияние СОЖ на выходные показатели процесса шлифования сплава ТН50 [7]

Компоненты	Содержание, мас. доля, %	Водородный показатель СОЖ pH	Мощность шлифования, кВт	Относительный расход алмазов, мг/г	Шероховатость обработанной поверхности R_a , мкм
Кальцинированная сода	3,0	10	1,70	7,5	0,12—0,16
Натрий тетраборно-кислый	3,0	10	1,70	6,4	0,25—0,27
Триполифосфат натрия	2,5	8	1,50	7,1	0,17—0,20
Натрий фосфорно-кислый двузамещенный	2	8	1,35	3,5	0,18—0,25
Нитрит натрия	0,2				
Натрий фосфорно-кислый двузамещенный	2,0				
Нитрит натрия	0,2	7	1,40	2,6	0,16—0,18
Серно-кислый аммоний	0,1				

12. Влияние СОЖ на выходные показатели процесса шлифования сплава на основе окиси алюминия (BO13) [7]

Состав СОЖ	Содержание, мас. доля, %	Водородный показатель СОЖ pH	Эффективная мощность шлифования, кВт	Относительный расход алмазов, мг/т
Серно-кислый аммоний	1,0	7	0,25	1,70
Натрий фосфорно-кислый двузамещенный	2,5			
Нитрит натрия	0,5	8	0,20	1,27
Вода	100	9	0,30	1,1
Кальцинированная сода	3,0	10	0,25	3,71

При шлифовании твердого сплава применяли круг 12A2 с углом 45° AC4 100/80 M100. Режим обработки: скорость резания 15 м/с, продольная подача 0,3 мм/мин, поперечная подача 0,25 мм/дв.ход. Уменьшение водородного показателя снизило износ кругов. Положительные результаты при применении натрия фосфорно-кислого двузамещенного могут объясняться тем, что этот компонент диссоциирует в воде на катион натрия и анион фосфорной кислоты, которые вследствие электростатического притяжения обволакивают поверхность зерен алмазов и связи круга, уменьшая их активность и налипание шлама в процессе шлифования. Высокая молярная теплоемкость серно-кислого аммония ($187 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) снижает теплонпряженность процесса обработки. Для сравнения укажем, что теплоемкость кальцинированной соды $109,2 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, а нитрита натрия $93,05 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

При шлифовании материалов на основе окиси алюминия (марка BO13) хорошие результаты показывают щелочные составы (табл. 12). Керамику шлифовали кругом AC4 100/80 BC9 100 на тех

же режимах, что и сплав ТН50.

Для повышения производительности обработки и уменьшения износа алмазных шлифовальных кругов применяют следующие методы электрохимического затачивания твердосплавных пластин:

- 1) с поливом электролита;
- 2) с током правки;
- 3) с током травления затачиваемого твердосплавного инструмента;
- 4) с током правки и травления одновременно (метод двойного травления).

Удельная производительность, или отношение объема сошлифованного металла к объему изношенной части круга, при использовании различных методов возрастает в указанной выше последовательности.

Исследования проводили на модернизированном универсально-заточном станке ЗВ641. Алмазным кругом AC6 125/100 MO16 100 затачивали резцы с пластинами из твердого сплава ВК8. Скорость круга 35 м/с, продольная подача 2 мм/мин, поперечная подача 0,02 мм/дв.ход.

По сравнению с алмазной обработкой всухую метод «двойного травления», при котором происходит анодное растворение

затачиваемого инструмента и частично поверхности, позволяет увеличить более чем в 3 раза удельную производительность.

Широкое внедрение электрохимической алмазной обработки сдерживается токсичностью и коррозионной активностью электролитов. В качестве СОЖ при электрической заточке и шлифовании твердосплавного инструмента кругами на металлической связке применяют следующий состав, мас. доля, %: азотно-кислый натрий—5, азотисто-кислый натрий—2, фосфорно-кислый натрий—1, углекислый натрий—1, вода—91 [3].

СОЖ для шлифования закаленных легированных сталей алмазными кругами. Круглое наружное шлифование закаленных легированных сталей Р6М3 (62—64 HRC₂), 65Г (62—65 HRC₂), ШХ15 (62—64 HRC₂) и стали 40 (42—45 HRC₂) без охлаждения или с использованием масляной СОЖ ОСМ-1 нецелесообразно. При обработке без охлаждения уже при небольших нагрузках (30 Н) алмазный круг на органической связке В11 теряет режущую способность через 5—10 с работы, а круг на металлической связке МО16 вызывает прижоги. Валики диаметром 10 мм и длиной 70 мм обрабатывали на круглошлифовальном станке ЗБ153 алмазными кругами АПП 250×10×75 АС15 250/200 100. Окружная скорость круга 30 м/с. Алмазный инструмент правили абразивным кругом ПП 150×20×32 62С16НСМ2К5 при встречном вращении кругов. Режимы правки: окружная скорость правящего круга 15 м/с, продольная подача 0,8—1 мм/мин; три двойных хода с глубиной 0,01 мм и три двойных хода без

подачи на глубину.

Испытывали масляную СОЖ ОСМ-1 и водные: содовый раствор (1,5% кальцинированной соды и 0,6% нитрита натрия); 3%-ный раствор Аквол-10, 3%-ную эмульсию Укринол-1. Эксперименты проводили с постоянным радиальным давлением на круг. СОЖ подавали поливом с расходом 7—8 л/мин. Эксперименты показали, что применение масла ОСМ-1 при алмазном шлифовании закаленных легированных сталей нецелесообразно. Даже при небольшой радиальной нагрузке, равной 30 Н, на обработанной поверхности были прижоги, обусловленные низкими охлаждающими свойствами масла и высокой тепловой напряженностью процесса. Режущая способность всех трех водных СОЖ была примерно одинакова. Ее проверяли при удельной нагрузке 100 Н (удельное давление 1,3 МПа) для круга на металлической связке и 120 Н (1,53 МПа) для круга на бакелитовой связке. Материал детали мало влиял на шероховатость Ra шлифованной поверхности, которая больше зависела от состава СОЖ. Максимальные значения шероховатости поверхности были получены при применении содового раствора, минимальные — при использовании Аквол-10. Укринол-1 вызывал небольшое засаливание круга на металлической связке в условиях работы с максимальной производительностью ($P_r = 1,3 \div 2,8$ МПа). Коэффициент режущей способности при шлифовании с максимально допустимыми нагрузками кругом на органической связке был в 5—6 раз больше, чем при применении круга на металлической связке. Удельный расход ал-

мазов во всех опытах находился в пределах 0,45—0,55 мг/г.

СОЖ для шлифования титановых сплавов и жаропрочных сталей алмазными кругами. С повышением микротвердости абразива увеличивается его износостойкость и улучшается процесс микрорезания. Синтетические алмазы марок AC15, АСМ обладают наименьшей склонностью к схватыванию с титановыми сплавами. Несколько худшую эффективность показывают круги из монокристаллического эльбора ЛО.

Объемный коэффициент расхода кругов из эльбора ЛО равен 30—40, для алмазных кругов AC15 свыше 100. Сопротивление усталости деталей, шлифованных кругами из алмаза и эльбора, примерно в 1,3 раза выше, чем обработанных кругами из карбида кремния.

При алмазном шлифовании титановых сплавов и жаростойких сплавов хорошо зарекомендовали себя 2%-ный Укринол-1 с добавкой 0,6% кальцинированной соды и раствор, содержащий 5% калия трехзамещенного фосфорно-кислого семиводного; 0,3% кальцинированной соды и 0,5% гексаметафосфата (соль Грэма), который может быть заменен нитритом натрия (см. составы 5 и 1, табл. 13) [6]. Имеющиеся в составе 1 фосфаты способствуют образованию защитных пленок в зоне контакта круга с заготовкой, резко уменьшающих налипание титана на рабочую поверхность алмазного круга.

В табл. 13 представлены результаты лабораторных испытаний СОЖ различных составов при шлифовании круглых образцов из жаропрочной стали на станке 3110М кругом 1A1 250 × 10 × 76 ×

× 5 AC15 200/160 MO16 100. Режимы резания: скорость круга 37,3 м/с, скорость вращения детали 0,0082 м/с, скорость продольного перемещения стола 0,117—0,183 м/с. Наилучшие результаты по удельному расходу алмазов показала СОЖ 1. Минимальные значения шероховатости поверхности и удельной работы были при использовании СОЖ 9.

СОЖ МР-1 и масло И-20А в отличие от СОЖ 1 показали плохие результаты: удельный расход алмазов возрос в 5 раз, а шероховатость поверхности ухудшилась примерно в 1,5 раза. Применение масла МР-1 во многих случаях приводит к появлению прижогов на шлифованной поверхности.

Шлифование сплава ВТ3-1 с применением СОЖ 1—5 показало, что наилучшие результаты получаются при использовании СОЖ 1 и 5. Последняя менее токсична и имеет меньшую коррозионную агрессивность.

Хорошие результаты показало масло ОСМ-3 при шлифовании стали 13X12H2B2MФ-Ш на станке ЛШ-1, широко применяемом в промышленности для обработки профиля пера лопаток компрессора. Однако масло ОСМ-3 имеет повышенную коррозионную агрессивность. Шлифование алмазными кругами AC6 200/160 100 на связках MO16 и M5-9 показало, что наименьший расход алмаза обеспечивает 10%-ный водный раствор нитрита натрия с добавкой 0,5% смачивателя НБ. Однако такой состав нельзя рекомендовать для широкого применения из-за его высокой токсичности. Шлифование стали 13X12H2B2MФ-Ш с применением 1,5%-ного водного содового рас-

13. Составы СОЖ для алмазного шлифования деталей из титановых сплавов и жаропрочных сталей и технологические показатели процесса алмазного шлифования деталей из стали 13X12H2B2MФ-Ш [6]

Номер СОЖ	Состав СОЖ	Содержание компонентов, мас. доля, %	Удельный расход алмазов $\cdot 10^{-3}$, $\text{мг}/\text{мм}^3$	Шероховатость поверхности, мкм	Удельная работа 10^{-2} , $\text{Дж}/\text{мм}^3$
1*	Калий трехзамещенный фосфорно-кислый Сода кальцинированная Гексаметафосфат натрия Вода	5 0,2—0,3 0,5 Остальное	8,27	1,92	0,92
2	Натрий иодистый Нитрит натрия Смачиватель ОП-7 Вода	1 0,3 0,7 Остальное	16,77	2,0	1,0
3	Смачиватель ОП-7 Нитрит натрия Вода	0,7 0,2 Остальное	51,87	2,72	0,98
4	Смачиватель ОП-7 Перекись водорода Нитрит натрия Вода	0,7 0,5 0,2 Остальное	46,8	2,42	1,0
5	Укринол-1 Сода кальцинированная Вода	2 0,6 Остальное	16,46	2,38	0,9
6	Сода кальцинированная Нитрит натрия Вода	2 0,3 Остальное	33,07	1,87	0,92
7	Масло МР-1	100	44,3	3,01	0,72
8*	Масло И-20А	100	46,64	2,8	0,77
9	Масло И-20А Олеиновая кислота	98,5 1,5	15,99	1,77	0,65

* Составы 1 и 8 обычно используют при шлифовании деталей из титановых сплавов и жаропрочных сталей.

творя привело к засаливанию кругов через 1,5 ч работы. Режим шлифования: $v_{\text{ср}} = 37$ м/с, $S_{\text{ср}} = 0,183$ м/с; $S_{\text{ср}} = 104,76 \cdot 10^{-4}$ рад; $t = 0,05$ мм, расход СОЖ $(0,167 - 0,2) 10^3$ м³/с.

Исследования на станке ЛШ-1 алмазных кругов АСВ 200/160 100 на различных связках показали, что с увеличением концентрации фосфорно-кислого трехзамещенного калия в СОЖ удельный расход алмазов уменьшается.

Содержание $K_3PO_4 \cdot 7H_2O$, мас. доля, %	3	5	8	10
Удельный расход алмазов при использовании связки МО16, мг/г	3,87	2,97	2,745	2,160

Оптимальной считается 5%-ная концентрация $K_3PO_4 \cdot 7H_2O$, так как раствор, содержащий более 8% фосфорно-кислого трехзамещенного калия, вызывает стягивание кожи рук рабочего. При испарении K_3PO_4 кристаллизуется на частях станка. Недостаточный расход СОЖ, повышение скорости и глубины шлифования способствует формированию растягивающих остаточных напряжений, максимальное значение которых для титановых сплавов ВТЗ-1, ВТ5-1 на участке корыта достигает 294 МПа при алмазной обработке на станках ЛШ-1. Режимы обработки: $v_{\text{ср}} = 62$ м/с; $S_{\text{ср}} = 0,2$ м/с; $S_{\text{ср}} = 104,76 \cdot 10^{-4}$ рад; $t = 0,1$ мм.

6. ТВЕРДЫЕ СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ШЛИФОВАНИЯ, ЗАТОЧКИ И ДОВОДКИ

Твердые смазочные материалы (ТСМ) применяют в виде карандашей и брикетов при шлифовании труднообрабатываемых материалов, при заточке и доводке инструментов из твердого сплава и быстрорежущей стали алмазными и эльборовыми кругами. ТСМ повышают производительность и улучшают качество обработки вследствие понижения сил трения и контактной температуры. Применение эффективных ТСМ уменьшает в несколько раз расход синтетических сверхтвердых материалов, устраняет адгезию частиц металла к поверхности шлифовального круга, позволяет интенсифицировать режимы шлифования без появления прижогов. В качестве основы ТСМ обычно применяют вещества с гексагональной кристаллической решеткой: графит, нитрид бора, дисульфид молибдена. Они имеют слоистое строение и низкую прочность на сдвиг. Для улучшения адгезии ТСМ к обрабатываемому материалу и к шлифовальному кругу в смазку вводят термореактивные пластмассы на фенольной и эпоксидной основах, а также мочевиноформальдегидную и кремнийорганическую смолы, играющие роль связующего. Функции связующего могут выполнять стеарин, воск, а антифрикционный компонент — сера.

ТСМ наносятся на режущую поверхность круга при определенном давлении, создаваемом фиксированной нормальной силой, или с заданным расходом смазки

Последний способ более предпочтителен. Длительность действия пластичной смазки на технологические показатели процесса шлифования зависит в основном от режимов обработки, которые оказывают преобладающее влияние на контактные давления и температуру, и в меньшей степени от зернистости и связи круга. При эльборовом заточке инструментов из быстрорежущей стали хорошие результаты показывает смесь, содержащая 35% нитрида бора и 65% стеарина. Рекомендуется проводить смазывание рабочей поверхности с частотой до 50 дв. ходов.

При заточке инструментов из быстрорежущих сталей с применением ТСМ рекомендуется использование кругов из эльбора зернистостью 10—16, твердостью С1—СТ3. Режимы шлифования: скорость круга 26—38 м/с, продольная подача 2—3 м/мин, поперечная подача 0,04—0,05 мм, дв. ход. При шлифовании быстрорежущих сталей с применением ТСМ возрастает относительная опорная длина профиля рабочей поверхности круга на всех уровнях высоты рельефа вследствие уменьшения среднего шага между активными элементами зерен эльбора. Шероховатость обработанной поверхности быстрорежущих сталей при использовании ТСМ примерно в 1,4 раза меньше по сравнению с работой круга без ТСМ. Толщина деформированного слоя уменьшается на 33—61%, а контрольная температура — на 35—50%. Влияние ТСМ на основные показатели процесса шлифования некоторых марок быстрорежущих сталей (63—66 HRC₁) приведено в табл. 14. Обработку проводили на универсальном за-

точном модернизированном станке мод. 3А64 эльборовыми кругами ЛЧК 125×32×6×2 ЛО8 С1 100 С10. Режимы обработки: скорость круга 19 м/с, продольная подача 1 м, мин, поперечная подача 0,02 мм/дв. ход. ТСМ в виде бруска размером 12×12×50 мм прижимали к рабочей поверхности шлифовального круга непосредственно в процессе обработки. Смазывание осуществляли дискретной подачей бруска на заданную величину (0,05 мм).

Влияние режимов шлифования стали Р9Ф5 кругом ЛО8 С1 100 С10 на удельный расход эльбора q (мг/г) выражается следующей эмпирической зависимостью:

$$q = C_1 t^a S^b V^d,$$

где коэффициенты и показатели степени равны: при шлифовании с ТСМ — $C_1 = 7,3 \cdot 10^3$; $a = 1,18$; $b = 1,28$; $d = 1,2$; при шлифовании без ТСМ — $C_1 = 4,7 \cdot 10^4$; $a = 1,2$; $b = 0,96$; $d = -1,54$.

ТСМ весьма эффективны на операциях заточки и доводки металлорежущего инструмента из быстрорежущей стали и твердого сплава алмазными кругами. Так, применение ТСМ, содержащих воск, олеиновую кислоту и хлористый аммоний, при заточке радиусов на пластинках из твердого сплава ВК4 алмазными кругами АЧК 150×10×5×3 АСЧ 63/50 50 Б1 на универсальном заточном станке мод. 3464 позволило сократить расход алмазов с 13,8 до 7,9 мг/г, уменьшило шероховатость обработанной поверхности с $Ra = 0,8$ до $Ra = 0,36$ мкм. ТСМ, имеющий форму карандаша, наносили через каждые два—пять циклов заточки на рабочую поверхность шлифовального кру-

14. Влияние применения ТСМ, содержащего 35% нитрида бора и 65% стеврина, на основные характеристики процесса шлифования быстрорежущих сталей кругами из эльбора [10]

Показатель	Марка стали					
	P18	P6M5	P9K5	P9Ф5	P9K10	P12Ф3К10М3
Составляющие силы резания, Н:						
P_t	9,8	9,8	10,5	11	12	14
	15	15,4	16	17	19	22
P_f	57	58	63	69	88	115
	47,5	48,5	52,5	58	72	94
P_t/P_f	0,17	0,17	0,164	0,16	0,14	0,122
	0,31	0,31	0,3	0,29	0,26	0,234
Удельная работа шлифования, Дж/мм ³	160	162	169	179	199	230
	244	247	259	277	310	358
Эффективная мощность шлифования, кВт	0,18	0,18	0,19	0,21	0,23	0,26
	0,28	0,28	0,3	0,31	0,35	0,41
Удельная интенсивность съема, мм ³ /(мин·Н)	1,21	1,23	1,11	1,01	0,8	0,61
	1,46	1,44	1,33	1,21	0,98	0,75
Удельный расход эльбора, мг/г	3,5	3,6	3,9	4,7	5,6	7,2
	1,6	1,7	1,9	2,1	2,9	4,1
Контактная температура, °С	390	390	400	410	440	460
	200	200	210	220	250	280
Шероховатость поверхности R_a , мкм	0,17	0,165	0,155	0,14	0,12	0,1
	0,23	0,255	0,21	0,18	0,16	0,13
Глубина распространения наклепа, мкм	178	170	140	113	70	39
	220	272	235	190	115	65
Величина наклепа на поверхности, Н/мм ²	1400	1500	1700	2000	2350	2100
	1800	2200	2700	3300	3400	2800
Содержание аустенита, %	7	19	18	8	6	3
	10	27	26	12	10	5

Примечание. В числителе приведены данные при шлифовании с ТСМ, в знаменателе — без ТСМ.

га без изменения скорости его вращения. Расход смазочного материала составил 15 г на 100 затачиваемых пластин.

В качестве ТСМ возможно использование в виде брусков охлажденных до низких температур (замороженных) СОЖ, подаваем

мых под определенным давлением одновременно на круг и на заготовку.

7. СОТС ДЛЯ ХОНИНГОВАНИЯ И СУПЕРФИНИШИРОВАНИЯ

Хонингование и суперфиниширование — это процессы чистовой обработки деталей машин алмазными, эльборовыми или абразивными брусками. Бруски прижимаются к обрабатываемой поверхности с небольшим удельным давлением и срезают с нее тонкий дефектный слой при сравнительно невысокой температуре резания. В процессе обработки металла брусками СОЖ охлаждает заготовку; смывает продукты резания и износа из зоны обработки; оказывает значительное влияние на контактное взаимодействие инструмента и заготовки; уменьшает потери на трение; снижает прочность поверхностных слоев обрабатываемого материала (эффект Ребиндера).

В условиях циклического взаимодействия абразивных зерен с обрабатываемым материалом в нем образуются микротрещины, на стенках которых адсорбируются молекулы ПАВ, облегчающие разрушение металла. При хонинговании и суперфинишировании в отличие от шлифования применяют более мелкозернистый абразивно-алмазный инструмент, что затрудняет вымывание продуктов износа с поверхности брусков и из зоны резания. В связи с этим возрастают требования к моющим, смачивающим и проникающим свойствам СОЖ. Хорошими проникающими, моющими, смачивающими свойствами обладает керосин, обеспечивающий высокую производительность

обработки. Он применяется на некоторых заводах на финишных операциях при обработке серого чугуна, закаленной стали и некоторых цветных металлов. Недостатки керосина: пожароопасность, низкие охлаждающие, пластифицирующие и санитарно-гигиенические свойства.

Керосин заменяют водными растворами, водомасляными эмульсиями и масляными СОЖ. При разработке новых составов стремятся обеспечить минимально возможные значения таких физико-химических параметров, как краевой угол смачивания, поверхностное натяжение, а для масляных СОЖ и вязкость. У керосина эти параметры соответственно равны $4 \cdot 10^{-2}$ мДж/м² и $3 \cdot 10^{-2}$ м² при 20 °С.

Для финишной обработки чугунов и конструкционных сталей вместо керосина и керосиново-масляных смесей рекомендуются маловязкие масляные СОЖ РЖ-8, РЖ-3, ОСМ-1, ОСМ-2к, И-5А, водные СОЖ Синхо-2М, Синхо-6, Аспарал-Ф.

Сравнительные испытания СОЖ РЖ-3 и РЖ-8 показали, что первая позволяет уменьшить засаливание хонинговальных брусков, загрязнение СОЖ, увеличивает сроки ее эксплуатации.

Более вязкие масла рекомендуются для обработки пластичных материалов, образующих сливную структуру, менее вязкие — для обработки хрупких материалов (чугунов).

С увеличением вязкости углеводородных жидкостей улучшается их смазывающая способность, что часто сопровождается уменьшением шероховатости обработанной поверхности, например, при добавлении масла в керосин. Од-

нако при этом увеличивается проскальзывание режущих зерен, легче возникает эффект «масляного клина», уменьшается производительность обработки.

Хонингование. На скорость резания и производительность хонингования оказывает влияние вязкость СОЖ. Добавка масел к керосину улучшает его смазывающие действия, уменьшает шероховатость поверхности, но увеличивает вязкость и снижает производительность обработки. Керосин позволяет хонинговать чугун со скоростью до 100 м/мин, что обеспечивает высокую производительность процесса. Скорость обработки уменьшается в несколько раз при добавлении к керосину масла. Соответственно увеличивается и время обработки.

Замена керосиново-масляной смеси маловязкими маслами ОСМ-1, ОСМ-2к и ОСМ-3 улучшает санитарно-гигиенические условия работы операторов, уменьшает пожароопасность. Во многих случаях улучшаются технологические показатели процесса хонингования. Так, при использовании СОЖ ОСМ-1 взамен керосиново-масляной смеси для черного и чистового хонингования гильз двигателей из чугуна СЧ20 шероховатость обработанной поверхности уменьшилась в 2 раза. Производительность обработки, износ брусков и точность формы при использовании обеих СОЖ были примерно одинаковы. При алмазном хонинговании закаленной стали ШХ15 применение СОЖ ОСМ-1 по сравнению с керосином позволяет увеличить съем металла в единицу времени в 1,5—2 раза, уменьшить удельный расход алмазов до 3 раз.

Применение водных СОЖ по

сравнению с масляными позволяет улучшить условия труда, исключить пожароопасность. Для абразивного и алмазного хонингования в основном применяют одни и те же СОЖ. Однако следует учитывать некоторые особенности алмазного хонингования. Алмазные хонинговальные бруски имеют износостойкость в десятки, а иногда и в сотни раз большую, чем абразивные. В конце цикла алмазные зерна остаются достаточно острыми. При работе абразивными брусками скорость съема в конце цикла существенно уменьшается и затупившиеся абразивные зерна производят в основном пластическое деформирование (выглаживание) обрабатываемой поверхности. Поэтому при одинаковых условиях обработки шероховатость поверхности при обработке абразивными брусками меньше, чем алмазными.

При алмазном хонинговании стальных закаленных шестерен хорошо зарекомендовала себя СОЖ следующего состава, мас. доля, %: тринатрийфосфат—0,3—0,4; нитрит натрия—0,3—0,4; триэтаноламин—0,3; тиомочевина—0,1—0,15; бура—0,3—0,4; смачиватель ОП-7 или ОП-10—0,1—0,15; глицерин—0,1—0,15; вода—остальное. Эти компоненты растворяют в теплой воде (около 40 °С) в указанной последовательности.

Для чистового хонингования стальных закаленных деталей рекомендуются составы, приведенные в табл. 15.

Для улучшения моющего действия СОЖ в состав 1 рекомендуется вводить 0,25—0,6% нефтяного мыла, которое, однако, несколько снижает производительность обработки.

15. Составы СОЖ для хонингования

Компонент	Содержание, мас. доля, %, для составов	
	1	2
Триэтанол-амин	1,0—1,8	1,0—5,0
Нитрит натрия	0,25—0,6	0,25—1,0
Глицерин	0,25—0,6	0,25—1,0
Хлористый кальций	—	0,5—2,0
Смазочный ОП-7	—	До 0,5
Вода	97,0—98,5	90,5—97,5

Для предварительного и окончательного хонингования чугунных деталей НИИ тракторсельхозмаш рекомендует применять следующий состав, %: триэтанолфосфат — 0,25—0,6; нитрит натрия — 0,25; кальцинированная сода — 0,25; бура — 0,25; вода — остальное.

Суперфиниширование. Это один из наиболее эффективных методов отделочной обработки рабочих поверхностей деталей, имеющих форму тел вращения, мелкозернистыми абразивными брусками. После суперфиниширования уменьшается некруглость (огранка) деталей до 0,30—0,07 мкм, снижается высота микронеровностей до 0,16 мкм, образуются остаточные напряжения сжатия в поверхностном слое и происходит его упрочнение [1]. Для суперфиниширования стали и чугуна в качестве СОЖ целесообразно применять маловязкие масла ОСМ-1, ОСМ-3.

Машиностроительные заводы для обработки закаленных сталей часто применяют керосиново-масляные смеси с олеиновой кисло-

той (85—90% керосина, 10—15% машинного или индустриального масла и 3—5% олеиновой кислоты). Чтобы избежать наволакивания металла на брусок при обработке вязких и пластичных металлов применяют маловязкие масла или смеси легких масел с добавкой олеиновой кислоты.

Применение маловязких масел вместо керосина при суперфинишировании уменьшает пожароопасность без снижения качества и производительности обработки [2]. Однако при использовании масла ОСМ-3 необходимо более часто менять СОЖ или применять более эффективную, чем для керосина, систему очистки.

Хорошие результаты на Нефтекамском заводе по производству автомобилей-самосвалов при суперфинишировании хромированных плунжеров показал водный раствор Аспарал-Ф.

8. СОТС ДЛЯ ЛЕНТОЧНОГО ШЛИФОВАНИЯ И ПОЛИРОВАНИЯ

Ленточное шлифование и полирование применяют для очистки и зачистки поверхностей, для окончательной чистовой обработки плоских, фасонных поверхностей и деталей, имеющих форму тел вращения (валов, роликов, колец, дисков), из чугунов, сталей, титановых и жаропрочных сплавов, цветных металлов. Ленточное шлифование создает меньшее тепловое и силовое воздействие на обрабатываемую поверхность, чем шлифование кругом, что позволяет избежать вторичной закалики поверхностного слоя, появления в поверхностном слое трещин и остаточных напряжений растяжения.

В процессе ленточного шлифования СОЖ снижает силы резания, охлаждает зону резания, повышает стойкость ленты и очищает ее от шлама. Для ленточного шлифования и полирования применяют абразивные, алмазные и из кубического нитрида бора шкурки на хлопчатобумажной, капроновой и шифоновой основах.

Водостойкая шлифовальная шкурка на тканевой основе выпускается из электрокорунда, монокорунда и зеленого карбида кремния различной зернистости. Шкурка может работать без охлаждения, с водными эмульсиями, маслом и керосином. При использовании содового раствора стойкость ленты снижается в 2 раза. Содовый раствор обычно применяют для ленточного шлифования деталей из чугуна.

Алмазные бесконечные шлифовальные ленты серийно выпускают Опытный завод Института сверхтвердых материалов АН Украины и Таллинский завод алмазного инструмента. Эти ленты работают только с СОЖ, так как связки, содержащие каучук, размягчаются при повышенных температурах. В качестве СОЖ применяют воду, масло промышленное и трансформаторное, 3%-ный содовый раствор, эмульсолы. Для полирования стальных деталей используют керосин или смесь, содержащую 75% керосина, 24% промышленного масла и 1% олеиновой кислоты. Ленты из кубического нитрида бора при шлифовании стальных деталей обеспечивают более высокую производительность, чем алмазные, но шероховатость обработанной поверхности получается хуже. Замена абразивной шкурки на элборовую позволила увеличить вы-

пуск колец в 3 раза. Контактная температура в зоне резания зависит от износа абразива и возрастает в 2—3,5 раза по мере затупления ленты. Например, при работе острой лентой с охлаждением трансформаторным маслом контактная температура равна 80—100 °С, по мере затупления ленты она возрастает до 150—200 °С.

СОЖ на основе минеральных масел уменьшает шероховатость обработанной поверхности и поле рассеяния значений микронеровности. Шероховатость поверхности снижается с повышением вязкости масла. Прочные пленки в зоне контакта абразивного зерна с заготовкой уменьшают глубину его фактического внедрения.

Масляную СОЖ ОСМ-4 целесообразно использовать на операциях ленточного шлифования и полирования цинка, а СОЖ ОСМ-3—при полировании конструкционных углеродистых и легированных сталей. Замена керосина масляной СОЖ ОСМ-3 при полировании кулачков и опорных шеек распределительного вала из закаленной стали 45 абразивной лентой ЛНТ 14А М40 на Ярославском моторном заводе уменьшила шероховатость поверхности с $Ra=0,16 \div 0,33$ до $Ra=0,12$ мкм.

Ленточное шлифование титановых и жаропрочных сталей. Для такого шлифования применяют двухслойные шкурки зернистостью 40—25. В качестве СОЖ используют водные растворы тринатрийфосфата и нитрита натрия, например, такого состава, %: эмульсол—0,25, тринатрийфосфат—0,5, нитрит натрия—0,25 и вода—99. В качестве масляной СОЖ применяют трансформатор-

ное масло с добавкой 2% олеиновой кислоты.

Основная задача СОЖ при ленточном шлифовании титана и его сплавов — нейтрализовать его повышенную химическую активность в результате образования защитных пленок, которые способствуют снижению сил резания и высоты микронеровностей, уменьшению величины и глубины распределения остаточных напряжений.

Применение растворов солей при шлифовании титановых сплавов абразивной лентой повышает производительность обработки, снижает износ абразива, уменьшает удельную мощность [13]. Частыми компонентами СОЖ, имеющих практическое применение, являются соли калия и натрия. Соли калия обеспечивают больший съем металла и меньший износ абразива, чем соли натрия. Еще более высокий съем металла в присутствии растворов 0,05 молярной концентрации обеспечивает раствор фтористого бария. Влияние катионов раствора на производительность обработки объясняется их взаимодействием с титаном. Наиболее интенсивное возрастание производительности обработки и уменьшение износа абразива происходит при увеличении молярной концентрации до 0,3. Увеличение концентрации раствора выше 0,4—0,5 молярной незначительно повышает съем металла и не сказывается на износе абразива. Концентрация раствора сильнее влияет на съем металла, чем на износ абразивной ленты. Так, увеличение концентрации раствора до 0,3 молярной при шлифовании сплава ВТ-5 лентой уменьшило износ абразива в 1,4—1,8 раза, в то время как съем

металла в растворе фтористого калия увеличился при шлифовании карбидом кремния в 2,45 раза, а при шлифовании электрокорундом — в 5,15 раза. Шлифование абразивными водостойкими лентами из электрокорунда и карбида кремния зернистостью 16 проводили в растворах солей калия и натрия — фторидах и нитридах, концентрация которых изменялась от 0,01 до 1,0 молярной. Режимы шлифования $v_d = 20$ м/с, $v_{обн} = 60$ м/мин, $P_y = 39,2$ Н.

Наиболее сильное увеличение съема металла и снижение затрачиваемой мощности происходит на участке низких концентраций (до 0,05 молярной), эффективность анионов на съеме титанового сплава возрастает в следующем порядке: $Cl^- - NO_3^- - NO_2^- - F^-$. Ленты из карбида кремния при охлаждении водой обеспечивают в 2 раза больший съем титанового сплава ВТ5, чем ленты из электрокорунда. Эффективность применения растворов неорганических солей при обработке титановых сплавов объясняется тем, что ювенильная поверхность сплавов обладает высокой химической активностью.

На поверхности образцов из титановых сплавов, шлифованных на воздухе и в дистиллированной воде, микротвердость в 2—3 раза выше, чем основного металла. Слой повышенной твердости достигает 15 мкм. При шлифовании в растворе солей происходит повышение микротвердости в 1,1—1,2 раза. Это объясняется тем, что вода, как и воздух, не предохраняет поверхность от окисления. При шлифовании титанового сплава абразивными лентами в воде на поверхности образцов появляются светлые участки, об-

разующие «муаровую» картину. Абразивные зерна при обработке в дистиллированной воде быстрее затупляются и начинают пластически деформировать металл, выдвигая и сдвигая его по поверхности. Различные участки поверхности имеют неодинаковую шероховатость, что неблагоприятно сказывается на эксплуатационных свойствах детали.

При шлифовании сталей, например коррозионно-стойкой стали 12Х19Н10Т или стали 45, влияние солей на съем металла незначительно. Ленты из электрокорунда при шлифовании стали 45 снимают в 5—7,5 раза больше металла, чем ленты из карбида кремния.

СОТС для полирования деталей эластичными кругами. Для очистки и зачистки поверхностей, для полирования крупногабаритных деталей сложной формы применяют эластичные круги из фетра, войлока, текстиля, шаржированные пастой. Выпускаются специальные гибкие вулканитовые круги зернистостью 16—40, круги из синтетических пластмасс, бумажные, деревянные, обитые кожей.

Для предварительного полирования деталей из стали применяют пасту, содержащую следующие компоненты, в частях по массе: окись железа—35—40, олеиновую кислоту—20, стеариновую кислоту—15, парафин—6. Паста для окончательного полирования содержит, в частях по массе: венскую известь—12, олеиновую кислоту—12, стеариновую кислоту—2—6. Для предварительного полирования деталей из цветных металлов применяют пасту, содержащую, в частях по массе: окись хрома—до 5, стеарин—1, воск пчели-

ный—1, для окончательного полирования: венскую известь—12, олеиновую кислоту—1, стеариновую кислоту—3, сало—2.

Паста для матирования поверхностей содержит, в частях по массе: наждак 12—15А зернистостью 10—50—12, стеариновую кислоту—1, сало—1,5. Полирование эластичными кругами выполняют в пять проходов. После первого прохода шероховатость поверхности $Ra=2,5 \div 1,25$, после второго—1,25—0,32, после третьего—0,32—0,04, после пятого—0,08—0,02 мкм. Зернистость абразива для первого прохода составляет 40—50, второго—16—25, третьего—8—12, четвертого—М6—М20, пятого—М10—М5.

9. СОТС ДЛЯ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ ПРИТИРКИ

Эффективность притирки обычно оценивают по производительности (съему металла за определенный период времени) и микрогеометрии обработанной поверхности. Эти параметры в значительной степени зависят от состава пасты или суспензии. Как правило, суспензии для доводки изготавливают на основе паст. СОЖ подают на рабочую поверхность притира непрерывно или периодически. Различают следующие способы нанесения (подачи) пасты или суспензии: 1) предварительное шаржирование алмазной или абразивной пастой; 2) нанесение пасты на поверхность притира; 3) непрерывная или периодическая подача суспензии в зону обработки. Первый способ рекомендуется для опытного производства, второй—наиболее часто применяется в прак-

16. Область применения и характеристика составов абразивных паст и суспензий [8, 12]

Номер соста- ва	Назначение притирочной операции	Характеристика пасты					Метод притирки
		Абразивная часть			Неабразивная часть		
		Абразив	Зернистость	Содержа- ние, мас. доля, %	Состав	Содержа- ние, мас. доля, %	
1	Предварительная при- тирка стальных дета- лей	Зеленый карбид кремния (63С; 64С)	M20—M40	5—10	Керосин Индустриальное масло И-5А Стеарин	40—50 40—50 3—10	Суспензией с непрерывной по- дачей
		Нормальный, бе- лый хромистый электрокорунд (12А; 16А, 22А— 24А; 32А—34А)					
2	Предварительная при- тирка деталей из мяг- кой стали, цветных ме- таллов и сплавов на их основе	Нормальный, бе- лый хромистый электрокорунд (12А—16А; 22А— 25А; 32А—34А)	M20—M40	30—40	Индустриальное масло И-5А Вазелиновое масло Стеарин	30—40 40—60 10—20	Пастами (с на- мазкой) и сус- пензиями с пе- риодической по- дачей
3	Предварительная и полу- чистовая притирка дета- лей из закаленной стали	Карбид кремния (63С; 64С)	M10—M14	25—30	Нитрит натрия Вода	1—2 Осталь- ное	Суспензией с не- прерывной пода- чей
4	Получистовая притирка стальных деталей, по- лупроводниковых мате- риалов, кварца	Белый электроко- рунд (22А—25А)	M5—M10				

5	Окончательная притирка стальных деталей, полупроводниковых материалов и кварца	Белый или титанистый электрокорунд	M3—M5	10—15	Керосин Вазелиновое масло Стеарин Олеиновая кислота	70—80 5—10 10—20 3—5	Пастами (с намазкой) и суспензией с периодической подачей
6	Предварительная и получистовая притирка закаленных стальных деталей	Зеленый карбид кремния, белый электрокорунд, монокорунд (63С; 64С; 22А—25А; 43А—45А)	M10—M28	5—10	Керосин Вазелиновое масло Стеарин Парафин	60—70 15—20 12 3—8	Суспензией с непрерывной подачей
7	Притирка деталей из твердых сплавов, в том числе пластин для режущего инструмента	Зеленый карбид кремния (63С; 64С)	M40	25	Глицерин Вода	90 10	
8	Окончательная притирка деталей из стали, цветных металлов и сплавов на их основе	Белый электрокорунд (22А—25А)	M1—M5	5	Стеарин Олеиновая кислота	3 92	Пастами (с намазкой) и суспензиями с периодической подачей

Номер соста- ва	Назначение притирочной операции	Характеристика пасты					Метод притирки
		Абразивная часть			Неабразивная часть		
		Абразив	Зернистость	Содержа- ние, мас. доля, %	Состав	Содержа- ние, мас. доля, %	
9	Притирка деталей из за- каленной стали	Белый электроко- рунд (22А—24А)	M7—M20	36—51	Окись хрома для пасты М7, М3 (входит в сос- тав абразивной части пасты) Парафин Стеарин Пчелиный воск Керосин	15 16—28 21 3,5—4 2—7	Паста (с на- мазкой) с пери- одической пода- чей керосина
10	Притирка деталей из за- каленной стали	Окись хрома	M1—M5	57	Парафин Пчелиный воск Стеарин Керосин	21,5 3,5 11 7	
11	Предварительная при- тирка деталей из твер- дых сплавов, закален- ных сталей	Алмаз синтети- ческий, зльбор	28/14— 14/10 M28—M14	0,6—2,0	Стеарин Парафин Пчелиный воск Веретенное масло Керосин	8 8 2,4 1,5 Осталь- ное	

12	Предварительная притирка деталей из твердых сплавов, закаленных сталей, металлов, керамики	Алмаз синтетический, зльбор	14/10—10/7 M14—M10	0,4—1,5	Стеарин Парафин Пчелиный воск Растительное масло Керосин	8 8 2,4 1,5 Остальное	С непрерывной капельной или с периодической подачей суспензии
13	Чистовая притирка деталей из твердого сплава, керамики, закаленных сталей	Алмаз синтетический, зльбор	10/7—5/3 M10—M5	0,2—1,0	Парафин Веретенное масло	1 Остальное	С непрерывной капельной подачей суспензии
14	Предварительная и получистовая притирка стальных закаленных деталей	Электрокорунд нормальный, белый (12А—17А, 22А—25А)	M10—M20	40	Олеиновая кислота Стеарин Индустриальное масло И-8А, 2%-ный раствор полиизобутилена в индустриальном масле И-8А	14 12 20	Пастами с намазкой

Примечание За 100%-ное содержание составов 8—14 паст (суспензий) принято содержание (мас. доля, %) абразива и неабразивной части пасты.

тике заводов, третий — редко применяется при алмазной (эльборовой) доводке из-за повышенного расхода синтетических сверхтвердых материалов.

Используемые при доводке стальных деталей пасты, основу которых составляет белый электрокорунд, по сравнению с обычными электрокорундовыми суспензиями имеют в 2—3 раза большую режущую способность.

Применение новой пасты [А. с. 525737 (СССР)] позволяет увеличивать съем металла в 1,5—1,8 раза при притирке деталей из железных и титановых сплавов и в 1,5 раза при притирке деталей из минералокерамики. Плотность пасты $1,85 \text{ г/мм}^3$, вязкость $30 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

В качестве СОЖ для паст с органическими связующими веществами часто применяют керосин, лигроин или бензин, которые обладают хорошей проникающей способностью. В пасты наряду с зернами алмаза, эльбора или абразива вводят ПАВ (например, олеиновую или стеариновую кислоту), которые изменяют физико-механические характеристики тончайшего поверхностного слоя обрабатываемой детали и ускоряют процесс притирки.

Для повышения режущей способности и создания условий «торможения» абразивных зерен в состав пасты вводят интенсификатор на основе канифоли [8]. Изготавливают следующие алмазные пасты: смываемые водой (В); смываемые органическими растворителями (ВО); мазеобразные (М); твердые (Т).

Пленка технологической жидкости должна смачивать всю поверхность притира без разрывов.

В ней должен располагаться только один слой зерен, так как большая толщина пленки уменьшает режущую способность и увеличивает шероховатость. Чрезмерное увеличение количества пасты и рабочей жидкости создает условия для микроударного воздействия алмазных или абразивных зерен.

Значительное влияние на процесс притирки оказывает вязкость рабочей жидкости, которую выбирают с учетом конкретных условий обработки. Сопоставление трех составов суспензий, содержащих микропорошок 24АМ20, при притирке плоских образцов из стали ШХ15 при давлении 0,02—0,05 МПа показало, что применение ПАВ увеличивает режущую способность суспензии до 50%. Испытывали составы: 1) керосин; 2) керосин и 7% канифоли; 3) керосин и 2% олеиновой кислоты. Олеиновая кислота в большей степени, чем канифоль, повышала производительность процесса притирки.

Характеристика и область применения паст и суспензий для притирки приведены в табл. 16.

10. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ СОТС ДЛЯ ШЛИФОВАНИЯ, ХОНИГОВАНИЯ И СУПЕРФИНИШИРОВАНИЯ

Машиностроительные заводы применяют на операциях алмазно-абразивной обработки различные составы СОТС. Их наименование и концентрация приведены в табл. 17—19 и в табл. 3 гл. IV.

17. Наименование и концентрация составов СОТС для шлифования, чистингования и суперфиниширования

Номер состава	Наименование	Концентрация, мас. доля, %	Номер состава	Наименование	Концентрация, мас. доля, %
СОЖ на водной основе					
<i>Водомасляные эмульсии</i>			18	Аквол-14	3—12
1	Аквол-2	2—5	19	Аквол-15	3—5
2	Аквол-2	5—10	20	Аквапол-1	3—5
3	Аквол-6	5—10	21	Карбамол-С	3—5
4	Аквол-6	10—20	22	Карбамол-С1	2—3
5	Карбамол-Э1	3—10	23	Синхо-2М	2
6	МХО-62	2	24	Синхо-6	3
7	НГЛ-205	3—5	<i>Углеводородные СОЖ</i>		
8	НГЛ-205	5—10	25	И-5А	Составы 100-ной концентрации
9	РЗ-СОЖ 8	3—7	26	И-12А, И-20А	
10	Синтал-2	3—10	27	И-40А	
11	Тосол-ОИЗ	2,5	28	ЛЗ СОЖ 1МИО	
12	Укринол-1, Укринол-1М	2—5	29	МР-2у	
13	Укринол-1, Укринол-1М	5—10	30	МР-4	
14	ЭГТ, ЭТ-2	3—10	31	МР-9	
<i>Полусинтетические и синтетические СОЖ</i>			32	МР-10	
15	Аквол-10М	5—10	33	ОСМ-1	
16	Аквол-11	2—5	34	ОСМ-2к	
17	Аквол-11	5—10	35	ОСМ-3	
			36	ОСМ-5	
			37	РЖ-8	
			38	РЖ-3	
			39	ШП	

Номер состава	Наименование	Разработчики

СОТС, выпускаемые опытными партиями

40	Азерол-1 (водная СОЖ)	Институт химии присадок АН Азербайджана
41	ВЗ-1	
42	ВНИИПП-76 (водная СОЖ)	Всесоюзный научно-исследовательский институт нефтепереработки, Московский автомобильостроительный институт
43	ДВЖ-1 (водная СОЖ)	Всесоюзный научно-исследовательский институт подшипниковой промышленности
44	ДИИ-3 (водная СОЖ)	Днепролзержинский индустриальный институт
45	Прогресс-13	Днепролзержинский индустриальный институт и МГТУ им. Н. Э. Баумана
46	Прогресс-15	Ивановский государственный университет
47	Прогресс-16	То же
48	Пурол (водная СОЖ)	»
49	ФМИ-5 (водная СОЖ)	ВНИИинструмента и МИНГ им. И. М. Губкина
50	Твердые смазки	Физико-механический институт им. Г. В. Карпенко АН УССР
		ВНИИинструмента

18. Составы СОТС для шлифования

Обрабатываемый материал	Рекомендуемые составы СОТС
Алюминий и сплавы на его основе	5, 7, 8, 16, 17, 30, 31,
Магнелиевые сплавы	29, 33
Магнитные сплавы	15, 1, 18, 49
Медные сплавы	12, 29, 31
Стали конструкционные и легированные	1—3, 5—8, 10, 11* ⁴ —18, 21, 22, 26, 27—29, 31, 33, 35, 36, 39, 41—43, 48
Стали инструментальные, быстрорежущие* ¹ и коррозионно-стойкие	2—7, 13, 15—18, 20, 26, 28—32, 35—37, 41, 48, 50
Стали жаропрочные и титановые сплавы* ²	2—3, 9, 13, 15—17, 18, 19, 30, 35, 50
Твердые сплавы* ³	3, 6, 15, 16, 18, 20, 44, 50
Безвольфрамовые твердые сплавы	15
Чугуны	12, 15, 16, 18, 35, 38

*¹ СОЖ для заточки, СОТС для обработки инструмента из быстрорежущей стали кругами из зльбора и кубонита приведены также в табл. 7 этой главы.

*² СОЖ для шлифования титановых сплавов приведены также в табл. 13 этой главы.

*³ СОТС для шлифования твердого сплава алмазными кругами приведены также в табл. 9, 11 этой главы.

*⁴ СОЖ рекомендуется для плоского шлифования сталей на столах с магнитным столом.

19. СОЖ для хонингования и суперфиниширования

Обрабатываемый материал	Операция	Рекомендуемые составы СОЖ
Алюминий и его сплавы	Хонингование	30
Медь и ее сплавы	»	33
Сталь незакаленная	»	23, 30, 33, 35, 37, 38
	Суперфиниширование	30, 33, 37, 38
Сталь закаленная	Хонингование	23, 34, 33, 37, 38
	Суперфиниширование	24, 33, 37, 38
Титановые сплавы и жаропрочные стали	Хонингование	30
Чугун	»	6, 23, 33, 37, 38
	Суперфиниширование	23, 33, 37, 38

Список литературы

1. Волков М. П., Малиновский Г. Т., Бровин И. Л. Новая СОЖ для скоростного глубинного шлифования инструментальной стали // Станки и инструмент. 1988. № 12. С. 28.
2. Выбор составов СОЖ при шлифовании кругами из зльбора: Методические рекомендации. М.: НИИ-

маш., 1981. 53. с.

3. Захарченко И. П. Эффективность обработки инструмента сверхтвердыми материалами. М.: Машиностроение, 1982. 224 с.

4. Капчук В. А., Верещагин А. Б. Справочник шлифовщика. М.: Машиностроение, 1988. 480 с.

5. Киселев Е. С., Джавахия Ж. К., Марксов А. Б. Влияние условий шлифования на свойства поверхностного слоя заготовок из титановых сплавов / Станки и инструмент. 1988. № 5. С. 30—31.
6. Крымов В. В., Горелов В. А. Алмазное шлифование деталей из титановых сплавов и жаропрочных сталей. М.: Машиностроение, 1981. 61 с.
7. Лавриненко В. И., Дегтяренко С. М., Улод Е. М. О выборе эффективного состава СОЖ для алмазного шлифования безвольфрамовых инструментальных материалов / Резание и инструменты. Харьков, 1988. С. 62—68.
8. Орлов В. П., Нестеров Ю. И., Полухин В. А. Доводка прецизионных деталей машин. М.: Машиностроение, 1978. 256 с.
9. Попов С. А., Кравченко Ю. Г., Крашениников Л. Н. Шлифуемость быстрорежущих сталей при использовании СОЖ с различными свойствами / Станки и инструмент. 1981. № 5. С. 20—21.
10. Применение твердых смазочных материалов при заточке инструментов кругами из эльбора: Методические рекомендации. М.: НИИмаш, 1981. 43 с.
11. Силин С. С., Леонов Б. Н., Хрульков В. А. и др. Особенности глубокого шлифования титановых сплавов / Вестник машиностроения. 1989. № 1. С. 43—45.
12. Хрульков В. А., Матвеев В. С., Волков В. В. Новые СОЖ, применяемые при шлифовании труднообрабатываемых материалов. М.: Машиностроение, 1982. 84 с.
13. Худобин Л. В., Ефимов В. В., Веткасов Н. И. Единая методика оценки эффективности СОЖ при шлифовании / Станки и инструмент. 1984. № 3. С. 28—29.

Глава VIII. ЭКСПЛУАТАЦИЯ СОТС В ГИБКИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВАХ (ГАП)

1. СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОТС ДЛЯ ГАП

К разработке новых СОЖ и системам их применения в условиях автоматизированных заводов (АЗ) предъявляются повышенные требования. Система СОЖ должна рассматриваться как неотъемлемая часть АЗ еще на стадии проектирования АЗ.

Поскольку для АЗ характерна комплексная автоматизация основных и вспомогательных процессов, то подсистема СОЖ, относящаяся к вспомогательным подразделениям, в условиях АЗ также становится объектом автоматизации, управления и контроля с учетом взаимодействия с остальными подсистемами АЗ и выполнения общей цели повышения эффективности и гибкости производства [8]. При этом ГАПС применения СОЖ содержат отдельные (внутренние) подсистемы или процессно-аппаратурные стадии, имеющие иерархическую структуру (рис. 1). Разработка математических моделей процессов применения СОЖ, а также автоматизированных тех-

нических средств контроля и аппаратурного оборудования создает предпосылки для перехода к эксплуатации СОЖ в следующих автоматизированных подсистемах: технологической подготовки СОЖ и систем циркуляции к применению — АСТП-СОЖ; очистки и регенерации СОЖ — АСОР-СОЖ; удаления отходов и обезвреживания отработанных составов — АСУО-СОЖ; транспортно-складского снабжения — АТСС-СОЖ и др. [7]. Каждая подсистема, представляет собой совокупность типовых процессов применения СОЖ и автоматической системы управления (АСУ ТП), действующей как единое целое. Первую, низшую ступень иерархической структурной схемы применения СОЖ образуют отдельные типовые технологические процессы и локальные системы автоматического регулирования (САР) для стабилизации режимных параметров. Так, в подсистеме АСТП-СОЖ осуществляются следующие процессы: водоподготовка (деионизация, обеззараживание); растворение, перемешивание, эмульгирование, а также активация (диспергирова-

и в подсистеме АСОР-СОЖ для регенерации СОЖ.

В процессах обезвреживания или регенерации отработанных СОЖ гибкость обеспечивается путем использования совмещенных или мобильных технологических схем обработки сточных вод, допускающих обезвреживание нескольких марок СОЖ.

Общим для обеспечения гибкости всей системы применения СОЖ является наличие адаптивной системы контроля и управления параметрами функционирования СОЖ (АСУ применением СОЖ).

Модели отдельных процессов применения СОЖ являются исходной базой создания общей модели системы применения СОЖ. В использовании автоматизированных средств применения СОЖ (процессно-аппаратурных стадий) и систем управления заключаются основные принципы функционирования подразделения СОЖ в целом в условиях ГАП. Однако автоматизированное производство на основе ГПС предъявляет новые требования не только к организационной структуре систем применения СОЖ, но и к свойствам самих СОЖ, оптимальному выбору их качественного и количественного состава [8].

ГПС характеризуется совмещением в одном технологическом процессе большого числа операций и обрабатываемых материалов с разным уровнем обрабатываемости, длительностью функционирования, повышенными требованиями к надежности, качеству и производительности [6]. Однако каждая товарная СОЖ предназначена для определенных условий резания и неизбежно, что

существование большого числа операций на различных обрабатываемых модулях приведет к необходимости решать задачу поиска некоторого оптимума (компромиссного решения) между требуемым качеством СОЖ и обеспечением общей эффективности всего процесса. Централизованная подача одной марки СОЖ может ограничить производительность обработки и в некоторых случаях снизить качество обработанной поверхности. В случае назначения двух и более марок СОЖ возникают проблемы обеспечения их совместимости, а также дополнительного оборудования, которое необходимо учитывать при проектировании ГПС для раздельной подачи, отвода и последующих очистки и регенерации нескольких СОЖ. Совместимость различных рекомендуемых для ГПС СОЖ необходима потому, что при перемещении заготовки детали из одной позиции в другую возможны перенос оставшихся на поверхностях обрабатываемой детали различных СОЖ и их смешение. Это может привести к ухудшению их эксплуатационных характеристик, если не будет выполнено условие совместимости по установленным признакам (унифицированности компонентов и составов СОЖ). В этой связи гибкость СОЖ зависит как от универсальности, так и от унифицированности составов и определяется показателями конструктивной (компонентной) гибкости и гибкости, отражающей заменяемость составов. При этом должно выполняться условие сохранения оптимальной технологической эффективности процесса при выполнении максимального количе-

ства операций. Полная гибкость СОЖ Γ_0 определяется следующим образом:

$$\Gamma_0 = \Gamma \bar{\Gamma} = \frac{k^2 J}{n^2 J_0}$$

где Γ — конструктивная, или компонентная, гибкость; $\bar{\Gamma}$ — гибкость, отражающая заменяемость (унифицированность) составов; k — число унифицированных компонентов СОЖ, обладающих свойством перестановки (оптимальной повторяемости в различных составах СОЖ); n — общее количество марок СОЖ, используемых на данном оборудовании; J, J_0 — текущая и расчетная информация об отклонении показателей свойств СОЖ в процессе эксплуатации от заданного уровня.

В целом требование гибкости при выборе СОЖ для ГПС может быть сформулировано следующим образом: обеспечение универсальности СОЖ для осуществления оптимальной технологической эффективности процесса механообработки изделий произвольной номенклатуры в установленных пределах значений их характеристик либо совместимости нескольких унифицированных СОЖ, также удовлетворяющих перечисленным условиям с учетом использования дополнительного оборудования для подачи, отвода, очистки и регенерации.

Надежность (ГОСТ 27.202—83) СОЖ определяется как комплексное свойство сохранять во времени в установленных пределах показатели свойств при хранении и транспортировании, техническом обслуживании (пригодности) и эксплуатации. Надежность СОЖ оценивается путем сочетания

таких свойств, как безотказность, долговечность, сохраняемость и ремонтпригодность. На стадии проектирования СОЖ ее надежность оценивают с помощью показателя проектно-расчетной надежности (ПРН) [8], основываясь при этом на формализованном описании отдельных стадий функционирования СОЖ в виде математической модели, связывающей векторы входных и выходных параметров свойств, следующего вида:

$$Y = f(X, K, V, L),$$

где X и Y — векторы параметров состояния соответственно входных и выходных показателей свойств СОЖ; $K(V)$ — вектор конструктивных (технологических) параметров; L — вектор неопределенных (вероятностных) параметров модели.

В таком случае определение уровня критерия ПРН заключается в оценке обеспечения выполнения исходных требований (технического задания) на создание новой СОЖ при изменяющихся рабочих условиях (параметров математической модели) для заданных технологических и эксплуатационных ограничений:

$$P(|Y - Y^*| \leq \epsilon) = P^*$$

при $R_1(X) \geq 0; R_2(K) \geq 0; R_3(V) \geq 0$, где P^* — заданная вероятность отклонения Y от Y^* с точностью ϵ ; R_1, R_2, R_3 — функции соответственно для X, K и V .

Надежность СОЖ при хранении и транспортировании оценивается стабильностью при перепадах температур и длительном хранении; при приготовлении — с помощью коэффициента готовности K_g ; при эксплуатации такими показателями, как средняя наработка на

отказ (t_{cp}) и вероятность безотказной работы $P(\tau)$:

$$P(\tau) = \prod_{j=1}^n [1 - Q_j(\tau)],$$

где $Q_j(\tau)$ — вероятность отказа по j -му свойству СОЖ в процессе эксплуатации.

Под отказом СОЖ следует понимать превышение установленных пределов показателей свойств, прямо или косвенно определяющих достижение целей функционирования ГАП, например: падение ниже нормы концентрации присадок, определяющих функциональные эмульсии, снижение биостойкости, появление коррозии, недопустимые изменения pH и температуры, возникновение отложений и осадков вследствие несовместимости СОЖ с другими элементами ГПС, превышение предела содержания механических примесей и т. д.

Уровень сохраняемости СОЖ в процессе эксплуатации характеризуется сроком службы $t_{сл}$. Учитывая снижение показателей свойств СОЖ в процессе циркуляции в замкнутом контуре, необходимо осуществлять комплекс мер по восстановлению ее рабочих характеристик. Поэтому СОЖ, пройдя через системы восстановления (фильтры, теплообменники, гидроциклоны, сепараторы, центрифуги и другое оборудование), должна обладать необходимым исходным уровнем функциональных свойств, т. е. обладать свойством ремонтпригодности. Этот фактор надежности определяется средним временем восстановления работоспособного состояния t_v и характеризует эффективность технологии процессов очистки и регенерации СОЖ.

Требования надежности и длительности эксплуатации СОЖ в условиях ГАП формулируются так: сохранение уровня свойств СОЖ в установленных пределах на весь период функционирования ГАП вследствие улучшения бактерицидных, антикоррозионных свойств и повышения уровня общей стабильности (эмульсионной, термической, микробиологической); отсутствие влияния СОЖ на компоненты станков, включая органы управления и контроля, с помощью которых осуществляются автоматизированное управление, измерение и контроль технологического процесса (образование нерастворимых осадков, отложений, загрязнений и т. д.); обеспечение совместимости СОЖ со смазочной системой станка, резинотехническими изделиями, материалами трубопроводов для циркулирования СОЖ, а также с лакокрасочным покрытием узлов и деталей станков.

Качество функционирования СОЖ в условиях ГАП является комплексным свойством, включающим в себя показатели свойств СОЖ на всех этапах ее проектирования, производства и эксплуатации. Качество СОЖ, как подсистемы ГАП, определяется на более высоких уровнях функционирования ГАП и выражается через показатели эффективности всего процесса механообработки металлов.

Обеспечение качества изделий в условиях ГАП требует постоянного контроля всех факторов, влияющих на технологию их изготовления. При этом контроль СОЖ может оказываться «узким местом», если не будет обеспечена системная проработка связанных с ним вопросов уже на стадии

проектирования ГАП. Для этого необходимо решить задачу повышения качества контроля и регулирования свойств СОЖ с учетом динамики их изменения за время эксплуатации. Для описания динамических свойств объектов в системном анализе используются понятия *наблюдаемости и управляемости*.

В общем виде уравнения состояния СОЖ, отражающие динамику изменения ее свойств, записываются так [4]:

$$\begin{aligned} X(t) &= AX(t) + BW(t); \\ Y(t) &= CX(t), \end{aligned}$$

где $X(t)$ — n -мерный вектор текущего состояния свойств СОЖ ($X_1, \dots, X_n$); $W(t)$ — m -мерный вектор управления (входной уровень свойств); $Y(t)$ — k -мерный вектор наблюдения (выходной уровень свойств); A — матрица коэффициентов, $n \times n$; B — матрица управления (входа), $n \times m$; C — матрица наблюдения (выхода), $k \times n$.

Управляемость определяется как вероятность достижения цели управления качеством СОЖ. В процессе эксплуатации такой целью является поддержание на заданном уровне состава, физико-химических, функциональных и сопутствующих свойств и т. д. Критерий управляемости определяется в матричной форме с помощью следующего преобразования матриц A и B :

$$\text{rank } W = \text{rank } K [B, AB, A^2B, \dots, A^{n-1}B] = n.$$

Критерий наблюдаемости, подтверждающий возможность измерения требуемых показателей свойств СОЖ, также определяется путем соответствующих преобразований матриц A и C :

$$\text{rank } H = \text{rank } K [C^T, A^T C^T, (A^T)^2 C^T, \dots, (A^T)^{n-1} C^T] = n,$$

где A^T и C^T — транспонированные матрицы.

В целом управляемость и наблюдаемость СОЖ характеризуют уровень автоматизации управления и контроля основных параметров СОЖ в процессе эксплуатации, включая информационное, математическое обеспечение и технические средства диагностики, анализа и коррекции (датчики внешней информации, автоматические анализаторы, дозаторы, регуляторы и т. д.).

2. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ СОТС

Для осуществления автоматизированного управления технологическими процессами в ГАП и повышения надежности функционирования СОЖ необходимо автоматизировать контроль и управление качеством СОЖ в процессе их эксплуатации. Этот вопрос решается на стадии проектирования ГАП путем встраивания в общую систему автоматизированного контроля (САК) автоматизированной информационно-измерительной системы (АИИС) контроля состояния СОЖ [8].

Представленная на рис. 2 АИИС-СОЖ предусматривает замену ручного контроля параметров СОЖ автоматизированным непрерывным или дискретным аналитическим контролем. В АИИС-СОЖ входят функционально объединенные измерительные средства (датчики внешней информации и автоматические анализаторы), устрой-

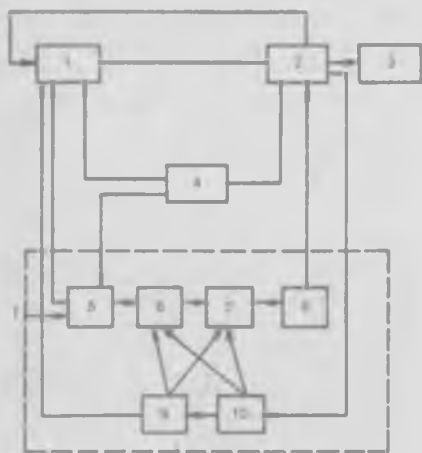


Рис. 2. Структурная схема автоматизированной информационно-измерительной системы АИИС-СОЖ, встраиваемой в общую систему автоматизированного контроля (САК) для АЗ:

1—система автоматизированного контроля АЗ; 2—управляющий вычислительный комплекс (УВК) на базе ЭВМ; 3—устройства для выдачи информации; 4—основные подразделения АЗ; 5—выбор контролируемого параметра СОЖ; 6—подготовка пробы СОЖ; 7—преобразователь состава СОЖ в сигнал измерительной информации (СИИ); 8—обработка СИИ и представление информации для ЭВМ; 9—стабилизация параметров пробы СОЖ; 10—командно-временные устройства; 1—информация о состоянии СОЖ в подсистемах приготовления, очистки, регенерации, стабилизации, обезвреживания, утилизации, рекуперации

ства преобразования выходных сигналов для последующего их ввода в ЭВМ.

Работа АИИС-СОЖ осуществляется следующим образом. С помощью пробоотборников, встраиваемых в системы циркуляции СОЖ в основных ячейках ГПС (блок 4), отбираются пробы СОЖ для их последующего анализа. Затем выбирается (в зависимости

от требований, предъявляемых к СОЖ в конкретных условиях) контролируемый параметр СОЖ (блок 5). Когда это необходимо, происходит подготовка пробы СОЖ к анализу (блок 6), заключающемуся в транспортировании пробы от точки отбора к анализатору, фильтрации, дозировании, выделении нужной для анализа фазы и т. д.

Проба СОЖ, содержащая твердые частицы, фильтруется с помощью гидроциклона, например типа ГЦ-1, устанавливаемого в точке отбора и термической подготовки. Автоматизированная подготовка пробы СОЖ эмульсионного типа включает в себя выделение анализируемой фазы из эмульсии, ее термическую подготовку и дозирование через соответствующий автоматический анализатор. СОЖ, не содержащая диспергированных частиц, может подвергаться анализу без дополнительной подготовки.

Для приведения показаний автоматических анализаторов в соответствие с характеристиками системы управления ГПС осуществляются анализ и преобразование измеряемых параметров СОЖ в выходной сигнал (блок 7). Для этого используют систему унифицированных совместных средств измерений.

В отдельных случаях некоторые параметры функционирования СОЖ (например, расход, температура, уровень, напор и др.) измеряются без отбора и подготовки проб с помощью первичных преобразователей, устанавливаемых непосредственно в различных точках системы циркуляции СОЖ, в том числе и в зоне резания. В таком случае после выбора контролируемого параметра

в блоке 5 сигнал от датчика поступает в блок 7, минуя блок 6. В блоке 8 измеряемые выходные сигналы обрабатываются и представляются в виде, удобном для ввода в ЭВМ. Блок 9 служит для стабилизации (термической, эмульсионной и т. п.) параметров проб СОЖ при их подготовке, а также для корректировки погрешностей, возникающих в ходе анализа и преобразования информации в блоке 7. В блоке 10 осуществляется автоматическое управление стадиями подготовки проб и преобразования информации по заданной программе.

По данным АИИС-СОЖ, управляющий вычислительный комплекс ГПС может прогнозировать ресурс работоспособности СОЖ на каждом модуле ГПС или по всей ГПС, а также обеспечивать управление следующими параметрами: расходом СОЖ; требуемым для долива количеством СОЖ; величиной напора СОЖ в трубопроводах; степенью загрязненности СОЖ, а также ее некоторыми физико-химическими показателями. К ним относятся: температура; pH; концентрация рабочего раствора (включая концентрацию антикоррозионных, бактерицидных и смазывающих присадок); качество воды (жесткость, содержание посторонних примесей); термическая и эмульсионная стабильность; микробиологический баланс и др.

Для автоматического анализа составов СОЖ в АИИС можно использовать (в зависимости от того, какой параметр СОЖ требуется определить) следующие методы и приборы [3, 4]: для измерения и преобразования значений pH и рХ (здесь Х — другие

ионы) в унифицированный сигнал постоянного тока — потенциометрический метод, реализуемый с помощью pH-метров с измерительными преобразователями типов П-201, П-201(4) и П-205(4); для анализа состава полупрозрачных СОЖ — рефрактометрический метод, осуществляемый с помощью автоматического рефрактометра типа Д2РП-Д; для непрерывного измерения концентрации растворов с электропроводностью 0,01—1,0 (Ом/см) — кондуктометрический метод, проводимый с помощью автоматического кондуктометрического концентратометра типа КНЧ-1. Этот концентратометр может быть использован в качестве датчика для автоматического регулирования, устанавливаемого непосредственно в блоке 4 или с помощью автоматического сигнализатора типа СЭ-2У2 электропроводности водных растворов. Для измерения плотности растворов при температуре 30—100 °С применяют денсиметрический метод, реализуемый с помощью автоматических измерений плотности растворов типа ИПР-1М-1А (Б, В), ИПР-1М-2А (Б, В) или радионуклидного плотнометра типа ПР-1025М.

Кроме перечисленных приборов и методов в АИИС можно использовать также универсальные автоматические приборы, подобные анализатору жидкости «Анализ-1» (автоматический показывающий и регистрирующий прибор для определения концентрации компонентов в жидких смесях), и промышленный унифицированный хроматограф ХПУ-1 (для автоматического количественного анализа СОЖ на масляной или углеводородной основе) и др.

3. МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ СОТС

При автоматическом контроле концентрации (состава) и свойств жидкостей наибольшее распространение получили следующие методы анализа (ГОСТ 16851—71): без предварительного преобразования пробы — кондуктометрический, потенциометрический, полярографический, дизелькометрический, оптические, по величине температурной депрессии, по давлению насыщенных паров, радиоизотопный, механический (плотность), кинематический (вязкость), с предварительным преобразованием пробы — титрометрический, хроматографический. Преобразование пробы СОЖ при этом может заключаться в ее предварительной обработке (физической или химической), в результате которой она изменяет свое агрегатное или фазовое состояние. После преобразования пробы измеряют ее физические или физико-химические параметры. По виду измеряемого параметра приборы для анализа могут быть основаны на определении оптических, электрических, магнитных, тепловых, кинетических и механических свойств среды. В качестве измеряемых параметров используют: концентрацию, теплопроводность, вязкость, плотность, коэффициент преломления, диэлектрическую проницаемость, спектральные коэффициенты и др. Некоторые приборы и устройства, основанные на этих принципах, представлены в табл. 1. Для подготовки проб СОЖ при ее автоматическом анализе предусмотрены элементы

формирования потоков, которые позволяют осуществлять автоматизированные операции фильтрования, транспортирование, термостатирование, стабилизацию расхода и давления проб, необходимую для ввода в автоматический анализатор.

Реальная технологическая жидкая среда может не содержать диспергированных частиц (жидких, твердых, газообразных). К таким средам могут быть отнесены не загрязненные механическими и иными примесями водные растворы синтетических СОЖ, электролиты. При транспортировании через автоматизированную систему подготовки пробы таких СОЖ не изменяют агрегатного состояния и свойств. Для отбора пробы СОЖ, не содержащей дисперсной фазы и физически чистой, достаточно пробоотборного патрубка и запорного вентиля. Однако на практике в СОЖ всегда присутствуют какие-либо примеси, поэтому в точках отбора проб на анализ должны быть установлены фильтры. Система подготовки таких СОЖ включает ультрафильтрацию, термическую подготовку и дозирование жидкости через автоматический анализатор.

Технологическая жидкая среда может содержать твердые частицы (суспензия), легко осаждаемые под действием гравитационных сил; жидкая фаза суспензии не изменяет агрегатного состояния при изменении температуры и давления в заданных пределах. В суспензиях СОЖ с содержанием механических примесей диаметром более 60 мкм твердая фаза легко отделяется от жидкой фильтрацией. Для более мелких фракций автоматизированная

1. Приборы и устройства для контроля свойств СОЖ

Тип аппаратуры	Назначение
Элементы для формирования потоков анализируемых проб СОЖ в автоматизированных системах аналитического контроля	
У42-1	Пробоотборник для непрерывного или периодического отбора проб СОЖ, встраиваемый в трубопроводы или установки
ГЦ-1	Гидроциклон для отделения из осветленной жидкости твердых частиц
ФПЦ-1-4-01А	Фильтр для улавливания механических примесей при тонкой фильтрации в системах жидкостного анализа
ВР-1А	Вентиль регулирующий
ВЗ-1А	Вентиль запорный
ИРА-1	Индикатор расхода для визуального контроля расхода жидкостей
РДАЖ-1	Регулятор давления жидкости для автоматического поддержания установившегося давления при $T = 5 + 50$ С
РДЖ-301	Регулятор давления жидкости для автоматического поддержания установившегося давления при $T = 0 + 35$ С
ХЖАС-1	Холодильник для снижения температуры проб от $+100$ до $+40$ С

Приборы для автоматического измерения уровня и расхода СОЖ

ВУУЖ	Автоматический поплавковый указатель уровня
ВК, ВВ	Водомеры
ШЖУ, СВШС	Объемные счетчики
РПД	Ротаметр

Приборы для автоматического анализа состава СОЖ

ХПУ-1	Хроматограф промышленный унифицированный для анализа смесей органических жидкостей с $T_{\text{кип}} \leq 200$ С
КНЧ-1М	Концентратомер кондуктометрический для непрерывного измерения концентрации растворов с электропроводностью от $0,01$ до 1 Ом·см
СЭ-2У2	Сигнализатор электропроводности водных растворов
Анализ-1	Анализатор жидкости для определения концентрации компонентов в жидких смесях
ИПР-1М-1(2)А(Б, В)	Автоматические измерители плотности растворов при $T = 30 + 100$ С
ПР-1025М	Радиоизотопный плотномер жидких сред и пульп
Д2РП-Д	Рефрактометр автоматический для прозрачных и полупрозрачных жидких сред

Продолжение табл. 1

Тип аппаратуры	Назначение
РАН-62В	Автоматический рефрактометр для непрерывного контроля состава жидкостей
КК-2(3)	Кондуктометрические концентратомеры
ТАД-1п201, ТАД-1-Ф03,	Автоматические титрометры дискретного действия
ТАД-1-п03	
ДВУ-Э(П)ТК-104	Датчики плотности электрический (Э), пневматический (П)
АР-03	Автоматический прибор для определения содержания ароматических углеводородов в нефтепродуктах
АПВ-62	Автоматический поточный капиллярный вискозиметр
АКН-65В	Автоматический колориметр для контроля качества СОЖ по цвету
ПОНВ-63	Автоматический прибор для определения концентрации масел в воде
П-201(И), П-205(И)	Измерительные преобразователи рХ-метров
ДПг-5274, ДППг-9, ДПр-5315,	Погружные и проточные датчики автоматических рН-метров
ДПр-3, ДПр-4	
Приборы для автоматического контроля степени очистки СОЖ	
ОД-10М	Переносной прибор для определения загрязненности смазочных масел
ТВ-346	Автоматический турбидиметр
АО В-9(Л)	Фотоиндальметрический лабораторный мутномер
АМС-9	Автоматический анализатор мутности
АМЦ	Автоматический анализатор мутности и цветности
М-101	Переносной автоматический мутномер
ФПУ-1(2)	Поточный фотоэлектрический ультрамикроскоп для автоматического подсчета количества взвешенных в жидкости частиц

подготовка такой среды к анализу жидкой фазы заключается в использовании гидроциклона или самоочищающегося фильтра, устанавливаемого в точке отбора пробы СОЖ, а также в тонкой фильтрации, дозировании и термической подготовке. Если СОЖ представляет собой эмульсию, содержащую как крупные, так и мелкие частицы диспергированного масла, органических присадок, то в общем случае ее сплош-

ная и дисперсная фазы могут изменять агрегатное состояние при изменении температуры и давления. Дисперсная фаза может подвергаться коагулированию при транспортировании через автоматизированную систему подготовки жидкости к анализу. Анализируемой средой может быть как сплошная, так и дисперсная фаза эмульсии. Автоматизированная система подготовки такой эмульсии к анализу одной из ее фаз

включает выделение анализируемой фазы из эмульсии, ее термическую подготовку и дозирование через автоматический анализатор. Обычно из контролируемой технологической среды выбирается один компонент, содержание которого определяет протекание данного процесса и наиболее полно характеризует как целенаправленное, так и случайное изменение состава.

Для эмульсионных СОЖ осуществляется анализ той фазы, которая дает наибольшую информацию о ходе процесса. Для выделения анализируемой фазы эмульсии могут применяться либо экстракционные фильтры, либо динамические фильтры-циклоны, либо их комбинация (циклонно-экстракционные делители эмульсий). Если плотности диспергированной и сплошной фаз эмульсионных СОЖ близки, то гравитационное разделение затруднено. Подготовка пробы такой СОЖ к анализу может заключаться либо в ее гомогенизации, либо во введении добавок, ухудшающих взаимную растворенность. Введение добавок используется для контроля дисперсионной фазы устойчивых эмульсий. В процессе выделения дисперсной фазы из эмульсии и подготовки ее к анализу также требуются фильтрация и стабилизация давления и расхода. Автоматизированные узлы фильтрации СОЖ должны работать длительное время без необходимости их регенерации. Стабилизации расхода и давления требуют также автогидраторы, хроматоры и другие анализаторы, имеющие собственные дозирующие устройства.

Автоматические анализаторы являются измерительными устройст-

вами, они измеряют непосредственно не состав анализируемой среды, а ее конкретный физический параметр. Выбор измеряемого параметра зависит от того, насколько известны физико-химические свойства контролируемой и анализируемой сред, а также от наличия измерительной техники, которая может быть применима для данного вида аналитического контроля.

Перечисленные в табл. 1 элементы и приборы для формирования потоков анализируемых проб СОЖ, измерения уровня и расхода, автоматического анализа состава и степени очистки наряду с другими устройствами могут использоваться для создания типовых систем автоматизированного аналитического контроля свойств СОЖ и управления ее параметрами в условиях ГАП.

4. ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ СОТС ДЛЯ ГАП

Испытания, проведенные фирмой «Бритиш Петролеум» (Англия), показали высокую эффективность эксплуатации новых СОЖ на водной основе в автоматизированном оборудовании, в том числе на станках с ЧПУ при обработке как высоколегированных сталей с повышенной твердостью типа EN8D, EN24T, EN3B, EN36T, EN1A, так и цветных сплавов с хорошей обрабатываемостью. При эксплуатации отмечались дополнительные преимущества, связанные с тем, что эти жидкости не мешали автоматическому управлению и отслеживанию процесса. Контроль и управление состоянием СОЖ при ее подаче в зону резания гибкого производственного модуля типа FG 400P/1, используемого

для обработки плоских и корпусных деталей из стали, чугуна и цветных металлов, осуществляли с помощью контурного УЧПУ мод. CNC-H646 с развитой системой контроля, диагностики и подпрограммы. При этом управление подачей СОЖ предусматривало переключение различных устройств отдельно для подачи смазки при нарезании резьбы в чугуне и отдельно для подачи обильного охлаждения при обработке стали и легких сплавов. На станках с программным управлением зона контакта инструмента с деталью не имеет фиксированного положения в пространстве и устройство подачи СОЖ должно обеспечивать автоматическую коррекцию направления потока. Управление СОЖ при подаче в зону резания заключается в применении адаптивных систем подачи СОЖ, позволяющих автоматически изменять количество и характеристики потоков в зависимости от обстановки в зоне резания. Коррекция угла атаки струй СОЖ осуществляется или по программе от системы ЧПУ, или с помощью автономных следящих систем управления.

Фирма Юсиро кагаку Коге [1] использовала для работы в условиях ГПС эмульсионные СОЖ двух групп: W_1 и W_2 , включающие минеральные масла, жиры, органические кислоты, противозадирные и антикоррозионные присадки. Отмечалось, что стойкость, увеличение срока годности, повышение стабильности свойств и эффективности использования СОЖ зависят от организации контроля за их состоянием.

Для повышения эффективности использования СОЖ необходим оперативный контроль за ее со-

стоянием не только в процессе эксплуатации, но и при приготовлении, очистке и хранении. Такой принцип осуществлен при эксплуатации роботизированного комплекса для обработки деталей из специальных марок чугуна фирмы *Heineman*, имеющего в качестве одной из подсистем автоматизированную установку «Фильтрон» для приготовления и очистки СОЖ с устройствами для транспортирования СОЖ и удаления стружки и шлама. Все операции по приготовлению, подаче, отводу и очистке СОЖ автоматизированы. За состоянием СОЖ следит общая система контроля типа *Simens 3TE* на базе ЭВМ. Осуществляется автоматический контроль уровня СОЖ, напора в трубопроводах, дозирования и смешения компонентов, а также режимов отделения СОЖ от стружки в центрифуге и очистки в батарее гидроциклонов. В системе управления и контроля заложена специальная программа, предусматривающая автоматическое переключение на режим «конец смены» для очистки линий и замены СОЖ после длительной эксплуатации. О необходимости оперативного контроля параметров СОЖ не только непосредственно в процессе эксплуатации, но и на стадиях подготовки и стабилизации СОЖ отмечалось и в работе [5]. При этом в подсистеме стабилизации свойств СОЖ с целью повышения надежности технологического процесса механообработки (особенно важной в условиях гибких автоматизированных производств) должен осуществляться экспресс-контроль содержания твердых и жидких инородных примесей, коррозионной активности СОЖ, концентрации

2. Производственные испытания новых СОЖ

Оборудование	Деталь (материал)	Операция	СОЖ		Эффективность
			заменяемые	испытываемые	
Токарный обрабатывающий центр «Фанук-С»	Фланец (сталь 45, 40Х); гайка (сталь 45); стакан (Ал-4); поршень (сталь 45); вал (сталь 45)	Точение, сверление, сверлование, развертывание	3%-ный раствор ЭГТ	2%-ный раствор Кутора-МХ 3—5%-ный раствор Укринол-1	$K_T = 1,5 - 2$
	Ролик (сталь 12ХН3А); цунокер-сепаратор (ШХ15)	Точение, сверление, сверловка		3%-ный раствор Аввол-16	$Ra = 4 - 5$ мкм
Горизонтально-шпиндельный обрабатывающий центр «Фанук-Н»	Кронштейн (Ал-4); упор (СЧ20); фланец (сталь 45)	Сверление, точение, резьбофрезерование, фрезерование	3%-ный раствор ЛТ-11-А (Болгария)	2%-ный раствор Кутора-МХ	$K_T = 1,5 - 2$
	Вал (сталь 40Х)	Точение			$K_T = 1,2$
Токарный станок мод. 1М63БФ101	Вал (сталь 7ХГ2ВМ); шпиндель (сталь 18ХГТ)	Шлифование		3—5%-ный раствор Аквол-14 1,5%-ный раствор Кутора-МХ	На 40% меньше расхода круга

Продолжение табл. 2

Оборудование	Детали (материал)	Обработка	СОЖ		Эффективность
			используемые	испытанные	
Товарный РТК 16К20ФР132	Кольцо, фланец, крышка, втулка (сталь 45Х)	Точение, растачивание, поправка торца	3%-ный раствор ЛТ-11-А (Болгария)	3—5%-ный раствор Аквол-14	$K_T = 1,5 \div 2$
Зубофрезерный станок «Модуль» (VEB)	Кольцо зубчатое (сталь 50ХН)	Зубофрезерование	Масло И-20	10—15%-ный раствор МР-99	$K_T = 1,8$
Круглошлифовальный станок с ЧПУ мод. 3М152МВФ2	Плунжер-сенсоратор (сталь ШХ15)	Шлифование	3%-ный раствор ЭГТ	3—5%-ный раствор Аквол-14	$K_T = 1,7 \div 2$

основных компонентов, степени биопоражения, структурной устойчивости и температуры. Изменяющиеся в процессе эксплуатации параметры СОЖ контролируются в подсистеме их стабилизации специальной аппаратурой, которая одновременно может осуществлять функции активного контроля и управления режимами работы отдельных стабилизирующих элементов. К такой аппаратуре относятся термостабилизаторы, устройства коррекции состава и объема СОЖ, очистителя и т. п. Приведенные выше требования относятся также к подсистемам подготовки, регенерации, очистки и утилизации. В этих подсистемах может контролироваться содержание ионов неорганических солей, влияющих на жесткость воды, степень дисперсности эмульгируемой фазы, стабильность, коэффициент разделения водной и эмульсионной фаз, степень очистки, регенерации и т. д.

С учетом требований, предъявляемых к СОЖ для ГАП, НПО «МАСМА» были разработаны опытные образцы новой серии СОЖ.

ВНИИинструментом были проведены предварительные испытания в лабораторных и производственных условиях следующих СОЖ, рекомендуемых зарубежными фирмами для ГАП: СОЖ Кутора («Бритиш Петролеум»); СОЖ ГРИТОН («Тохо Кемикл», Япония), а также образцов отечественных СОЖ нового поколения типа Аквол-16 и Карбамол-С2М, являющихся аналогами зарубежных СОЖ для ГАП в сравнении с существующими СОЖ (Укринол-1 и Аквол-14).

Производственные испытания

этих СОЖ осуществлялись в цехе ГАП МСПО «Красный Пролетарий». Результаты представлены в табл. 2.

Список литературы

1. Асакура Хироти. Выбор СОЖ для ГПС // Кикай гидзюцу. Mech. Eng. 1984. 32. № 7. С. 22—27.
2. Васильев В. Н., Антолюк Б. Д., Каренишев А. И. и др. Проблемы создания автоматизированных производств будущего // Автоматизация производства ГПС и робототехника. Сер. 1. Вып. 6. М.: ВНИИТЭМР, 1988. 56 с.
3. Каталог приборов НПО «Химавтоматика». М.: НИТЭХИМ, 1987. 122 с.
4. Кузьмин С. Т., Липавский В. Н., Смирнов П. Ф. Промышленные приборы и средства автоматизации в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. М.: Химия, 1987. 272 с.
5. Нолянский Ю. В. Физико-химическая механика контактного взаимодействия. Чебоксары: Изд-во ЧГУ, 1984. С. 24—30.
6. Харгли Дж. ГПС в действии. М.: Машиностроение, 1987. 382 с.
7. Чулок А. И. Математические модели автоматизированного проектирования систем применения СОЖ // Автоматизированные системы проектирования и управления. Сер. 9. Вып. 5. М.: ВНИИТЭМР, 1987. 84 с.
8. Чулок А. И. Системный анализ функционирования СОЖ в условиях ГПС // Гидравлическое и пневматическое оборудование. Сер. 5. Вып. 1. М.: ВНИИТЭМР, 1986. 48 с.

Продолжение табл. 2

Оборудование	Детали (материал)	Соприятия	СОЖ		Эффективность
			зачищенные	испытанные	
Токарный РТК 16К20Ф3Р132	Калыно, фланец, крышечка, втулка (сталь 45Х)	Точение, растачивание, подрезка торца	3%-ный раствор ЛТ-1-А (Болгария)	3—5%-ный раствор Аквол-14	$K_T = 1,5 \div 2$
Зубофрезерный станок «Модуль» (УЕВ)	Колесо зубчатое (сталь 50ХН)	Зубофрезерование	Масло И-20	10—15%-ный раствор МР-99	$K_T = 1,8$
Круглошлифовальный станок с ЧПУ мод. ЭМ152МНФ2	Плунжер-сепаратор (сталь ШХ15)	Шлифование	3%-ный раствор ЭГТ	3—5%-ный раствор Аквол-14	$K_T = 1,7 \div 2$

основных компонентов, степени биопоражения, структурной устойчивости и температуры. Изменяющиеся в процессе эксплуатации параметры СОЖ контролируются в подсистеме их стабилизации специальной аппаратурой, которая одновременно может осуществлять функции активного контроля и управления режимами работы отдельных стабилизирующих элементов. К такой аппаратуре относятся термостабилизаторы, устройства коррекции состава и объема СОЖ, очистителя и т. п. Приведенные выше требования относятся также к подсистемам подготовки, регенерации, очистки и утилизации. В этих подсистемах может контролироваться содержание ионов неорганических солей, влияющих на жесткость воды, степень дисперсности эмульгируемой фазы, стабильность, коэффициент разделения водной и эмульсионной фаз, степень очистки, регенерации и т. д.

С учетом требований, предъявляемых к СОЖ для ГАП, НПО «МАСМА» были разработаны опытные образцы новой серии СОЖ.

ВНИИинструментом были проведены предварительные испытания в лабораторных и производственных условиях следующих СОЖ, рекомендуемых зарубежными фирмами для ГАП: СОЖ Кутора («Бритиш Петролеум»); СОЖ ГРИТОН («Тохо Кемикл», Япония), а также образцов отечественных СОЖ нового поколения типа Аквол-16 и Карбамол-С2М, являющихся аналогами зарубежных СОЖ для ГАП в сравнении с существующими СОЖ (Укринол-1 и Аквол-14).

Производственные испытания

этих СОЖ осуществлялись в цехе ГАП МСПО «Красный Пролетарий». Результаты представлены в табл. 2.

Список литературы

1. Асакура Хирочи. Выбор СОЖ для ГПС // Кикай гидзюцу. Mech. Eng. 1984. 32. № 7. С. 22—27.
2. Васильев В. Н., Антонюк Б. Д., Карендяев А. И. и др. Проблемы создания автоматизированных производств будущего // Автоматизация производства ГПС и робототехника. Сер. 1. Вып. 6. М.: ВНИИТЭМР, 1988. 56 с.
3. Каталог приборов НПО «Химавтоматика». М.: НИТЭХИМ, 1987. 122 с.
4. Кузьмин С. Т., Линавский В. Н., Смирнов П. Ф. Промышленные приборы и средства автоматизации в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. М.: Химия, 1987. 272 с.
5. Нолянский Ю. В. Физико-химическая механика контактного взаимодействия. Чебоксары: Изд-во ЧГУ, 1984. С. 24—30.
6. Хартли Дж. ГПС в действии. М.: Машиностроение, 1987. 382 с.
7. Чулок А. И. Математические модели автоматизированного проектирования систем применения СОЖ // Автоматизированные системы проектирования и управления. Сер. 9. Вып. 5. М. ВНИИТЭМР, 1987, 84 с.
8. Чулок А. И. Системный анализ функционирования СОЖ в условиях ГПС // Гидравлическое и пневматическое оборудование. Сер. 5. Вып. 1. М.: ВНИИТЭМР, 1986, 48 с.

Глава IX. ТЕХНИКА ПРИМЕНЕНИЯ СОТС

1. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ И ХРАНЕНИЕ СОТС

Упаковка, маркировка, хранение и транспортирование СОТС осуществляются по ГОСТ 1510—84. Рекомендуемые температуры транспортирования и хранения основных серийно производимых СОТС и гарантийные сроки их хранения приведены в табл. I. Смещение различных СОТС при хранении и транспортировании недопустимо. Хранят СОТС в закрытом складском помещении, при необходимости в обогреваемых (не выше 40 °С) стальных резервуарах, снабженных интенсивной циркуляцией. В особых случаях допускается хранение бочек с СОТС на открытом воздухе хорошо закупоренными, в горизонтальном положении под прикрытием навеса или брезента.

Приемку СОТС на предприятии-потребителе проводят партиями. Партией считают любое количество продукта, изготовленное за один технологический цикл и сопровождаемое одним документом о качестве (паспортом). Перед выгрузкой поступившей на предприятие партии СОТС убеждают наличие маркировки

на таре и паспорта на продукт, проводят отбор проб и проверку качества СОТС. СОТС хранят на централизованных и цеховых складах горюче-смазочных материалов (ГСМ) в стальных резервуарах разных размеров. Емкости для хранения эмульсолов ЭТ-2, ЭГТ, РЗ-СОЖ 8 и некоторых других СОТС должны быть снабжены перемешивающими устройствами. Например, описанный в работе [19] механизированный участок (склад) хранения шести наименований СОТС обеспечивает их механизированный прием и выгрузку из транспортных емкостей или бочек, поддержание заданной температуры, перемешивание и дозированный отпуск СОТС на приготовление водных эмульсий, растворов, а также непосредственно в станки.

При хранении СОТС на складах ГСМ в бочках последние располагают штабелями на специальных лежаках в горизонтальном положении. В летний период каждый месяц необходимо вскрывать пробки в бочках с СОТС для выпуска скопившихся паров или газов.

Помимо перечисленных условий СОТС следует хранить в помещениях, соответствующих

1. Гарантийные сроки хранения, температура транспортирования и хранения СОТС

СОТС	Срок хранения, месяцы	Температура, С
Масляные		
МР-2у, МР-4, МР-5у, МР-10	6	-10 ÷ +40
ЛЗ-СОЖ-1Т, ЛЗ-СОЖ-1МП, ЛЗ-СОЖ-1МИО, ЛЗ-26МО, ЛЗ-23М	12*	Не ниже +5
МР-1у, МР-3, МР-6, МР-7, МР-8, МР-9, МР-11, МР-99, ОСМ-1, ОСМ-2к, ОСМ-3, ОСМ-4, ОСМ-5, Укринол-20	12	-10 ÷ +40
ИСЭ-25	12*	-10 ÷ +40
РЖ-8	24	-10 ÷ +40
РЖ-3	36	-10 ÷ +40
Водосмешиваемые		
ЭТ-2у, ЭТ-2, ЭГТ, Эмульцил ЭТ-2	6	0 ÷ +30
Укринол-1, РЗ-СОЖ 8, НГЛ-205	6	-10 ÷ +40
Автокат, Эмульсол Т		
Аквол-2	6	-10 ÷ +30
МХО-60, МХО-64а	6	-15 ÷ +30
ШМ	6	-20 ÷ +50
Укринол-1М, Аквол-6,	9	-5 ÷ +30
ЯЗ	9	-10 ÷ +30
ФМИ-5, ФМИ-6	9	-10 ÷ +40
Авитол-1, Аквол-14, Уверол	12	-5 ÷ +30
Аквапол-1, Аквол-11, Аквол-16	12	-10 ÷ +40
Аквол-18, Аквомус, НСК-5у, Прогресс-13, «Резец», Ризол, Синтал-2, Синхо-2М, Синхо-6, Элоксом (Э-2)	12	-10 ÷ +40
Гидропол-2, Синма-1, Синма-2	12*	-10 ÷ +40
Карбамол-Э1у	12	-10 ÷ +30
Карбамол-С1	12	-15 ÷ +30
Аквол-15	12*	-15 ÷ +40
Тосол-ОИЗ	12	Не ниже -25
СКТБ ИНХП-2	12	Не ниже -30
Аквол-10М	12	-50 ÷ +30
Гидропол-1	24	-10 ÷ +40
СДМУ-2, ЭМУС	36*	-10 ÷ +40
Технологические смазки и пасты		
СЭЛ-1	12*	Не выше +5
Карбонал	24*	-10 ÷ +30
Натронал-1М	12*	-10 ÷ +30
КТС	12	Не более +30

* При хранении в таре изготовителя.

ГОСТ 12.3.025—80, СНиП 2.04.01—85, СНиП 2.04.05—86, СНиП II.4—79, нормам проектирования складов нефти и нефтепродуктов.

По истечении гарантийного срока хранения СОТС могут быть использованы по назначению при условии соответствия качества продуктов требованиям соответствующих стандартов или технических условий. Снабжение механических цехов СОТС может быть централизованным и механизированным по трубопроводам или с помощью внутривозовского транспорта. Перед выкачиванием концентратов масляных СОТС МР-5у, МР-99, ЛЗ-26МО, эмульсолов ЭТ-2, ЭГТ, РЗ-СОЖ 8, Укринол-1 и некоторых других СОТС из емкостей хранения производится их двух-, трехчасовая циркуляция.

2. ВХОДНОЙ КОНТРОЛЬ СОТС

При приемке и перед использованием партии СОТС, поступившей на предприятие или хранившейся длительное время, обязателен входной (приемочный) контроль—проверка качества СОТС на соответствие требованиям нормативно-технической документации. Отбор проб для входного контроля СОТС проводят в соответствии с ГОСТ 2517—85.

Номенклатура показателей качества СОТС и методы определения этих показателей приведены в технических условиях на продукты и описаны в гл. III. При получении неудовлетворительных результатов входного контроля СОТС хотя бы по одному из показателей, по нему проводят повторные испытания вновь отобранной пробы от удвоенной

выборки. Результаты повторных испытаний являются окончательными и распространяются на всю партию СОТС.

3. ПРИГОТОВЛЕНИЕ СОТС

Подготовка оборудования для приготовления и подачи СОТС. При замене СОТС перед приготовлением и применением нового раствора или эмульсии необходимо тщательно очистить, промыть и продезинфицировать оборудование—емкости, трубопроводы, лотки, драги, конвейеры, поддоны, фильтрующие устройства, наружные части металлорезающих станков и другие элементы систем приготовления и подачи СОТС. При длительной эксплуатации СОТС оборудование загрязняется отходами металлообработки, механическими примесями технической воды, продуктами разложения СОТС, бактериальной и грибной микрофлорой в виде донных осадков, налипов, пленок. Биопоражение и в целом загрязнение систем приготовления и подачи СОТС приводит к сокращению сроков службы СОТС и снижению их технологической эффективности, ухудшению гигиенических условий работы.

При смене масляных СОТС оборудование должно быть механически очищено от загрязнений и промыто маловязким нефтяным маслом, дизельным топливом, керосином или раствором технического моющего средства [4, 10]. Например, по ОСТ 38 01445—88 на СОТС МР-7 рекомендуется промывать системы циркуляции СОТС (отдельных станков в течение 30—40 мин, централизованные системы—в течение 2—4 ч) моющим соста-

вом, мас. доля, %: керосин—40—50, эмульгатор (олиновое мыло)—1—2, вода—50—60.

Особенно тщательно должна быть проведена подготовка оборудования при эксплуатации водосмешиваемых СОТС. Все многообразие способов и приемов очистки систем приготовления и подачи водосмешиваемых СОТС можно свести к трем основным вариантам технологического процесса подготовки оборудования [4, 10, 11, 17, 26, 35]:

I—слив отработанной СОТС; механическая (механизированная) очистка оборудования—емкостей, лотков, конвейеров, доступных частей станка; заполнение емкостей (на $1/3$ — $1/2$ объема) горячим (40—60 °С) водным раствором моющего и дезинфицирующего средств; циркуляция раствора в системе в течение 2—6 ч*; очистка от загрязнителя доступных частей системы при циркуляции моющего и дезинфицирующего раствора; слив раствора; удаление остаточной грязи из емкостей; заполнение емкостей (на $1/3$ — $1/2$ объема) водным раствором дезинфектанта; циркуляция раствора в системе в течение 0,5—1 ч; слив раствора;

II—в отработанную СОТС за 8—16 ч слива при нормальной эксплуатации системы вводится моющее и дезинфицирующее средство; механическая (механизированная) очистка лотков, конвейеров, доступных частей станков при рабочей циркуляции СОТС; слив отработанной СОТС; механическая (механизированная) очистка оборудования—емкостей, лотков, конвейеров, доступ-

ных частей станков; заполнение емкостей (на $1/3$ — $1/2$ объема) водным раствором дезинфектанта; циркуляция раствора в системе в течение 0,5—1,0 ч; слив дезинфицирующего раствора;

III—слив отработанной СОТС; механическая (механизированная) очистка емкостей, поддонов, желобов, лотков, доступных частей станков; заполнение емкостей (на $1/2$ — $2/3$ объема) горячим (40—60 °С) водным раствором моющего и дезинфицирующего средств; циркуляция раствора в системе в течение 1—2 ч*; слив раствора.

Варианты I и II используют при очистке централизованных систем, вариант III—при очистке индивидуальных систем. Вариант II применяют при совместности моющего и дезинфицирующего средств и СОТС (очистка систем по этому варианту значительно сокращает простои оборудования при замене СОТС, так как СОТС с введенными моющими и дезинфицирующими средствами циркулирует при работающем металлорежущем оборудовании). Совместимы с эмульсиями и растворами СОТС и применяются для очистки оборудования по всем трем технологическим процессам следующие средства: 1—2%-ные растворы технических моющих средств Лабомид-101, Лабомид-203, КМ-1, Аполир-К, ИМФ-1, Оса, Олиол, Вертолин-74, МС-6, МС-8, МС-15, ТМС-31, Полинка, МЛ-51, МЛ-52, МЛ-72 (табл. 2); дезинфицирующие средства: 0,3—1,0%-ные растворы биоцидных присадок Вазин, Азин-1, Азин-2 и других (табл. 3); 0,01—0,02%-ный раствор фураци-

* Циркуляция растворов каустической соды не более 15 мин.

2. Технические моющие средства (ТМС), рекомендуемые для очистки систем приготовления и подачи СОТС [10, 17, 21, 26]

ТМС	Технические условия	Завод-изготовитель
Аполир-К	38 40764—76	Сызранский сланцеперерабатывающий комбинат (ССПК)
Биолот	18 РСФСР 718—79	Московский завод бытовой химии
Вертолин-74	38 10960—86	ССПК
Вимол	38 10761—75	Шебекинский химзавод (ШХЗ)
Дегмос	38 40849—80	Лисичанский химзавод (ЛХЗ)
Дезмол	6 15861—74	То же
Импульс	38 101838—80	ШХЗ
ИМФ-1	38 1098—79	Сланцеперерабатывающий комбинат (г. Кивийлы)
Истра	38 10961—81	ШХЗ
КМ-1, КМ-2, КМ-3, КМ-5	38 10796—76	Буйский химзавод
Лабомид-101, -102	38 10738—80	Березниковское ПО «Сода»
Лабомид-203, -204	38 10738—80	Винницкий химзавод
МС-2, МС-6, МС-8	6 15978—76	Березниковское ПО «Сода»
МС-15	6 1814—81	
Олинол-1	38 101461	Бердянский ОНМЗ
Омега-1	38 10958-80	ССПК
Оса	6 1816—82	Ленинский горный химический завод
Полинка	38 10951—79	ШХЗ
Темп-100Д	38 401341—86	Ленинский горный химический завод
ТМС-31	38 107113—87	ШХЗ
Фокус 74	38 107102—76	ШХЗ

лина (ГФ-10, ст. 295) [24]. Применение в качестве дезинфектантов гексахлорфена (ТУ 6.14136—76) и формалина (ГОСТ 1625—75) не рекомендуется по токсико-гигиеническим причинам. Растворы каустической и кальцинированной соды (1—2%-ный), гипохлорита натрия (1—1,5%-ный), перекиси водорода, перманганата калия (0,2—0,3%-ный) можно применять для мойки и дезинфекции систем циркуляции СОТС только по вариантам I и II технологического процесса. В этом случае необходимо предусмотреть также окончательную промывку систе-

мы в течение 10—20 мин чистой теплой водой после слива моюще-дезинфицирующего раствора.

Поэтому при использовании других марок моющих и дезинфицирующих средств для промывки систем циркуляции СОТС необходима проверка их совместимости с рабочей эмульсией или раствором СОТС. Отсутствие разрушения СОТС (расслоения эмульсии, выпадения осадка, всплытия масла) после выдерживания с раствором моющего и дезинфицирующего средства в течение одного-двух дней свидетельствует об их совместимости.

3. Бицидные присадки к водосмешиваемым СОТС [9, 13]

Бицидные присадки	Технические условия	Назначение	Концентрация*, мас. доля, %	Завод-изготовитель
Вазин	6 094735—80	Бактерицид	0,3—1,0	Шосткинский завод химических реактивов (ШЗХР)
Азин-1	6 095072—83		0,25—0,70	
Азин-2	6 095094—84		0,2—0,5	
Формацид-13	6 095064—82		0,3—0,5	ДОЗ НПО «МАСМА» Заволжский химический завод
Камцид-1	38 0011081—86		0,2—0,5	
Карбамол-Б	6 0050114002—88		0,3—1,0	
Укацид-2	6 095298—86	Бактерицид-фунгицид	0,2—0,5	ШЗХР
Тетрацид	6 095281—8	Фунгицид-бактерицид	0,3—0,5	
Сульфацид-4	6 095402—8		0,15—0,20	
Сульфацид-5	6 095307—8		0,15—0,20	
Карбагин	6 095349—8		0,1—0,2	
Дивалон	38 5901198—90		0,1—0,2	

* Меньшая концентрация применяется при преобладании в СОТС аэробных бактерий, большая — грибов. При промывке и дезинфекции систем циркуляции СОТС бактерицидные присадки используются в концентрации 0,5—1,0% (мас. доля), фунгицидные — 0,3—0,8% (мас. доля).

Моющие и дезинфицирующие средства, вводимые в отработанную эмульсию или раствор СОТС, не должны ухудшать их антикоррозионных и смазывающих свойств, увеличивать пенообразование, должны повышать рН и моющее действие СОТС. В связи с комплексностью этих требований были разработаны моюще-дезинфицирующие средства (МДС) специально для очистки и дезинфекции оборудования при замене водосмешиваемых СОТС (табл. 4).

Наиболее трудоемким этапом подготовки оборудования является механическая очистка емкостей, поддонов, доступных частей станков. Поэтому для подготовки систем приготовления и подачи СОТС помимо механического инструмента (лопат, скребков, шпателей, щеток) целесообразно использовать механизированные инструменты и устройства (переносные и передвижные); моторные моечные машины ВМУ,

ММП-2/6, ОМ-3360, РЗ-ФМД, Филтрон-1 (отечественного производства), KWG (ФРГ), KEW 02V (Дания), Wap Alpina C (ФРГ), Freddy (Англия), водоструйные зачистные эжекторы ЭВЗ-20ПМ; пневмонасосы и др. [7, 10, 15, 17, 31, 34]. Многие из передвижных моечных машин используются также для фильтрации и откачки, приготовления, транспортирования, заправки и периодического долива СОТС в станки. Для этих целей можно использовать и специализированные передвижные станции замены СОТС (производительность 1 и 1,2 м³/ч, количество × объем баков — 2 × 0,4 и 3 × 0,07 м³), станции очистки гидросистем СОГ-913, СОГ-914, СОГ-П1М [18, 19].

Периодичность очистки и дезинфекции систем приготовления и подачи СОТС определяется объемом систем, типом и свойствами СОТС и обрабатываемого материала, интенсивностью режимов резания, степенью загрузки обо-

4. Серийно производимые моющие-дезинфицирующие средства [17]

МДС	Технические условия	Назначение и способы применения
МДС-1	38 101974—84	Для промывки систем циркуляции СОТС автоматических линий (длительность 10—48 ч) и отдельных станков (длительность 2—10 ч); в виде 1—3%-ной добавки в отработанную эмульсию за 24—48 ч до ее слива или в виде 1—3%-ного водного раствора после слива эмульсии
МДС-4	38 1011094—86	Для промывки систем циркуляции СОТС автоматических линий (длительность 4—8 ч) и отдельных станков (длительность 0,5—2 ч); в виде 0,5—1%-ного водного раствора после слива отработанной эмульсии или в виде 0,05—0,5%-ной добавки в отработанную эмульсию за 8—12 ч до ее слива
Биомос-1	23 4617857002—87	Для промывки систем циркуляции станков; в виде 1—2%-ной добавки в отработанную эмульсию или в виде 0,5—1,0%-ного водного раствора после слива СОТС
Нира	—	Для промывки систем циркуляции СОТС, автоматических линий и отдельных станков; в виде 0,5—2%-ных водных растворов

Примечание. МДС-1 и МДС-4 производятся Дрогобычским опытным заводом НПО «МАСМА», Биомос-1 — Шебекинским химзаводом, Нира — Казанским ПО «Татхимфармпрепараты».

дования и другими условиями. В общем случае очистку емкостей, трубопроводов и систем подачи СОТС проводят при их периодической замене. Качество очистки и мойки контролируется визуально. При обработке технологии очистки и дезинфекции необходимо также контролировать качество дезинфекции по остаточному количеству микроорганизмов в промывной воде. Допустимое содержание микроорганизмов — не более 100 клеток/мл. При сильном загрязнении оборудования мойку и дезинфекцию необходимо повторить.

Приготовление масляных СОТС. Большинство масляных СОТС поставляют готовыми к при-

менению, но масляные СОТС МР-5у, МР-8, МР-99, ЛЗ-СОЖ-2МИО, ЛЗ-СОЖ-2МО, ЛЗ-СОЖ-1МО приготавливают на предприятиях-потребителях растворением концентратов МР-5у (5—80%), МР-8 (5—50%), МР-99 (5—70%), ЛЗ-26МО (7 и 20%), ЛЗ-23М (20%) в минеральных маслах: индустриальных маслах И-8А, И-12А, И-20А, И-25А или масле веретенном АУ. Имеется опыт использования для этих целей отработанных, например, гидравлических масел, регенерированных на установке мод. 3582 (производительность 400 л/ч) конструкции НПО «НИИТавтопром». Приготавливать масляные СОТС рекомендуется при комнатной те-

мпературе, поэтому концентраты и базовые масла-растворители, хранившиеся при низких температурах, следует заранее отогреть в отопляемом помещении. Перед смешиванием с базовыми маслами концентраты МР-5у, МР-8, МР-99, ЛЗ-26МО, ЛЗ-23М необходимо тщательно перемешать. Масляные СОТС, готовые к применению в состоянии поставки, перед заправкой в станок также нужно тщательно перемешивать. Способы перемешивания концентратов и масляных СОТС на их основе могут быть разными: перемешивание ручное и с помощью мешалок, сжатого сухого воздуха, инертного газа и любые методы механического перемешивания. Установка для приготовления масляных СОТС 5, 10 и 50%-ной концентрации (с перемешиванием компонентов в потоке) производительностью 1,0 м³/ч описана в [19].

Приготовление водосмешиваемых СОТС состоит из двух основных этапов: подготовки воды и смешивания с водой эмульсола или концентрата, а также из ряда дополнительных операций (табл. 5). Основные требования к воде для приготовления СОТС приведены в табл. 6 [4, 26].

Соли жесткости в воде препятствуют полному эмульгированию и растворению компонентов СОТС, могут реагировать с ними, а это, в свою очередь, может вызвать истощение эмульсии и ухудшение ее антикоррозионных свойств. Повышенное содержание в воде хлоридов и сульфатов также вызывает ослабление антикоррозионных свойств СОТС. Вследствие этого возникает необходимость повышения его концентрации или применения анти-

коррозионных добавок. Сульфаты, кроме того, благоприятствуют размножению сульфатредуцирующих бактерий, вызывающих биопоражение эмульсионных СОТС. Применение мягкой воды (жесткостью менее 2 мг-экв/л) может увеличить пенообразование СОТС.

Техническая вода является одним из основных источников заражения приготовленного СОТС микроорганизмами — бактериями и грибами, повышенное содержание которых приводит к ухудшению эксплуатационных свойств и сокращению срока службы водосмешиваемых СОТС. Поэтому подготовка воды для приготовления водосмешиваемых СОТС должна включать комплекс мероприятий по их умягчению, обезжелезнению, деионизации и обеззараживанию. Применяют следующие методы умягчения и деминерализации воды [4, 33]: термические, основанные на нагревании воды, ее дистилляции или вымораживании; реагентные, при которых находящиеся в воде ионы кальция и магния связываются в нерастворимые соединения: ионного обмена, основанные на фильтровании воды через специальные материалы, обменивающие входящие в их состав ионы натрия на ионы кальция или магния, содержащиеся в воде; магнитные, заключающиеся в обработке умягчаемой воды постоянными магнитными полями.

Наибольшее распространение получил реагентный метод. Дозировка некоторых реагентов, применяемых для уменьшения или увеличения жесткости воды, приведена в табл. 7.

Обеззараживание воды может осуществляться различными ме-

5. Приготовление эмульсий и растворов водосмешиваемых СОРС

Операция	Тип, марка СОРС
Предварительные мероприятия	
Перемешивание концентрата до однородности	Все
Подготовка воды в соответствии с требованиями, приведенными в табл. 6 (при необходимости)	Все
Подогрев концентрата (при необходимости) до температуры, °С: 20—25 25—30 30 50—60	Эмульсол-Т ЭТ-2, Эмульцид ЭТ-2, РЗ-СОЖ 8 ЭГТ Гидропол-1
Приготовление раствора фурацилина или бактерицидной присадки (см. табл. 3)	Эмульсионные СОРС
Приготовление раствора кальцинированной соды и нитрита натрия из расчета содержания в эмульсии 0,2—0,3%	Только для ЭТ-2, ЭГТ, РЗ-СОЖ 8, НГЛ-205
Технология приготовления	
Концентрат тонкой струей льют в воду (а не наоборот) при постоянном перемешивании до получения однородного раствора или эмульсии молочного цвета	Большинство водосмешиваемых СОРС
Воду льют в концентрат (а не наоборот) при постоянном перемешивании до получения однородной эмульсии молочного цвета	ЭТ-2, ЭГТ, РЗ-СОЖ 8, Эмульцид ЭТ-2
В концентрат тонкой струей льют воду в соотношении 1:1 и перемешивают до получения однородной смеси. После полного растворения смесь разбавляют в остальном количестве воды при перемешивании в течение 20—30 мин	Аквол-18, Уверол
Охлаждение раствора до комнатной температуры	Гидропол-1
Добавляют раствор кальцинированной соды и нитрита натрия при постоянном перемешивании	Только в СОРС ЭТ-2, ЭГТ, РЗ-СОЖ 8, НГЛ-205, Эмульцид ЭТ-2
Добавляют раствор или навеску бактерицидной присадки (см. табл. 3)	Эмульсионные СОРС
Проводят контроль концентрации и физико-химических свойств эмульсии или раствора СОРС (см. п. 4 этой главы)	Все

Продолжение табл. 5

Примечания: 1 Для нейтрализации свободных кислот, содержащихся в эмульсолах ЭТ-2, ЭГТ, РЗ-СОЖ 8, НГЛ-205, во время приготовления эмульсий наряду с кальцинированной содой можно добавлять 0,2% тринатрийфосфата или поташа. При необходимости повышения антикоррозионных свойств эмульсий из этих эмульсолов в свежеприготовленную эмульсию добавляют 0,3% нитрита натрия или 0,1% бензоата натрия.

2. При приготовлении эмульсий из эмульсолов НГЛ-205 и СДМУ-2 необходимо использовать всю емкость (например, бочку), так как выпавшие при хранении осадки плохо растворяются в жидких компонентах эмульсолов.

3. В целях лучшего перемешивания концентрата и воды при приготовлении эмульсий и растворов рекомендуется сначала перемешать концентрат с 30—50% объема воды, затем долить воду до необходимого объема при тщательном перемешивании.

6. Требования к воде для приготовления водосмешиваемых СОТС

Показатель	Норма	ГОСТ на метод определения	Тип, марка СОТС
Грубодисперсные примеси	0	ГОСТ 6709—72	Эмульсии и растворы СОТС
Общая жесткость, мг-экв л	2—4 2—7 2—14 2—10	ГОСТ 2874—82	Синтетические и полусинтетические СОТС Эмульсионные СОТС Аквэмус Аквол-14, Гидропол-1
Содержание хлоридов, мг/л, не более Содержание сульфатов, мг/л, не более	30 80 300 200 150—170		
рН	5,2—7,5	ГОСТ 6243—75, разд. 4	Эмульсии и растворы СОТС
Температура, °С	15—30 20—30 30—40 50—60	—	Эмульцид ЭТ-2 ЭТ-2, ЭГТ, РЗ-СОЖ 8 Гидропол-1
Содержание микроорганизмов, клеток/мл, не более	100	Метод «глубинного культивирования» [21, 26]	Эмульсионные, полусинтетические и синтетические СОТС

7. Некоторые способы исправления качества воды [26]

Показатель	Отклонение от нормы	Способ исправления
Жесткость, мг-экв/л	Более 7 (жесткая вода)	Для понижения жесткости на 1 мг-экв/л вводится на 1000 л воды: кальцинированная сода (98% Na_2CO_3)—56,5 г, или кристаллическая сода (37% Na_2CO_3)—153 г, или тринатрийфосфат (Na_3PO_4)—120 г
	Менее 2 (очень мягкая вода)	Для увеличения жесткости воды на 1 мг-экв/л вводится на 1000 л воды: хлористый магний (MgCl_2)—51 г, или хлористый кальций ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)—59,4 г, или сульфат магния ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)—64,1 г
Температура, °С	Ниже 10 (зимой)	Подогрев до температуры 15—30 °С электрическими нагревателями или острым паром в специальных емкостях
Содержание хлоридов и сульфатов	Более допустимого (см. табл. 6)	Деминерализация воды
Содержание микроорганизмов, клеток/мл	Более 100	Обеззараживание воды

Примечание. Для приготовления эмульсий и растворов СОТС может быть использована также смесь парового конденсата с технической водой в соотношениях, обеспечивающих требуемую жесткость.

тодами, выбор которых определяется объемом подготавливаемой воды, типом системы приготовления и подачи СОТС, свойствами используемых СОТС. Классификация и описание методов обеззараживания воды приведены в работах [4, 33].

Следующим этапом в приготовлении водосмешиваемых технологических сред является смешение концентратов СОТС с водой. Для интенсификации этого процесса применяют различные методы и оборудование (барботирование, механические смесители с пропеллерными, рамными, турбинными и другими мешалками, гомогенизаторы, коллоидные мельницы,

гидродинамические вибровозбудители и др.). Схемы некоторых устройств приведены в работах [4, 33].

Для приготовления больших объемов водосмешиваемых СОТС применяют общезаводские или цеховые централизованные системы. Примером такой системы может служить централизованная система приготовления рабочих эмульсий Укринол-1 на ВАЗе [22].

Схема централизованной цеховой установки для приготовления меньшего объема эмульсии показана на рис. 1. Из резервуара 1 эмульсол насосом 2 подают в резервуар 3, куда заливают воду из резервуара 5, подогретую

паром, проходящим через змеевик 6. Через перфорированную трубу 4 в смесь подают сжатый воздух для перемешивания. После того как состав приобретет однородный вид, в резервуар добавляют воду до расчетного объема. После перемешивания всего объема эмульсии подача сжатого воздуха прекращается. Приготовленную эмульсию насосом 7 перекачивают в напорный резервуар 8 с указателем уровня 9, откуда она самотеком поступает к цеховым раздаточным колонкам 10 [26].

Схемы и технические характеристики механических диспергаторов СОТС (мешалок, коллоидных мельниц, гомогенизаторов и др.) приведены в работах [2, 3].

Недостатком паровоздушных и механических систем приготовления эмульсии являются недостаточно активное перемешивание и относительно невысокая степень дисперсности полученной эмульсии. В результате этого при длительном хранении эмульсии в напорном резервуаре могут произойти выделения масла из эмульсии и подача ее на рабочие места в заниженной концентрации.

Более эффективным является приготовление эмульсий с ис-

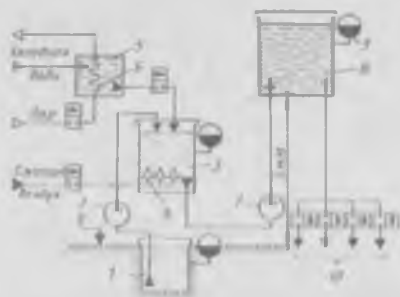


Рис. 1. Схема централизованной установки для приготовления эмульсий с помощью сжатого воздуха [26]

пользованием метода ультразвукового диспергирования. Вследствие акустических звуковых и ультразвуковых колебаний, эффекта кавитации обеспечивается получение мелкодисперсных и стабильных эмульсий, повышается их технологическая эффективность, сокращается время приготовления. В табл. 8 приведена техническая характеристика ряда устройств, реализующих указанный метод:

сирены гидродинамической СГД-3 (вертикальный вариант — СГД-3В и горизонтальный — СГД-3Г), разработанной и изготовляемой ПО «Златоустовский машиностроительный завод»;

8. Техническая характеристика гидродинамических смесителей

Показатель	СГД-3	6988	ЭВС
Производительность, м ³ /ч	5,4—14,4	0,5—10	—
Давление, МПа	1,5	—	0,25
Частота вращения ротора, с ⁻¹	48	50	—
Установленная мощность, кВт	3—5	3	—
Габаритные размеры, м	870 × 350 × 325	1060 × 500 × 500	106 × 66 *
Масса, кг	131	130	0,5 *

* Без установленного электродвигателя.

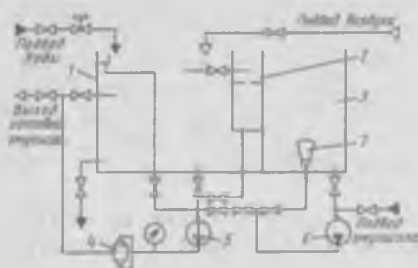


Рис. 2. Схема унифицированной установки для приготовления эмульсий, разработанной в КЭТИавтопром

смесителя гидродинамического 6988, разработанного и выпускаемого ПО «НИИТавтопром» (Москва);

эжекционно-волнового смесителя ЭВС, разработанного ПО «Вторнефтепродукт» и ИМАШ АН РФ и изготавливаемого ПО «Станкостроительный завод им. С. Орджоникидзе» (Москва).

Известны и другие подобные устройства: блоки гидродинамических излучателей УГС-3, УГС-

10; гидродинамический генератор (свисток жидкостный) СЖ-2, конструкции ЦНИХБИ; трансзвуковой эмульсор-дозатор, разработанный в НПО «Транссоник» (г. Одесса), кавитационные смесители, магнитострикционные и пьезоэлектрические излучатели серии УПХА, аппараты с комбинацией воздействий РАМП [2, 12, 16, 28].

С использованием смесителей подобного типа разработаны установки для приготовления водосмешиваемых, в основном эмульсионных, СОТС. Техническая характеристика двух таких установок приведена в табл. 9, а схема унифицированной установки для приготовления эмульсий с использованием гидродинамического вибровозбудителя — на рис. 2.

Установка предназначена для приготовления мелкодисперсной эмульсии и непрерывной подачи ее к станкам или хранения в случае малого расхода. В установке предусмотрена возможность вве-

9. Техническая характеристика установок для приготовления эмульсионных СОТС [18, 19]

Показатель	Установки конструкции	
	КЭТИавтопром (г. Курган)	РИТМ «Сириус» * (г. Нижний Новгород)
Производительность, м ³ /ч	15—18	2
Вместимость баков, м ³ , для:		
эмульсии	5	—
эмульсола	1,5	0,3
присадок	0,25	0,3
воды	—	0,3
Мощность, кВт	41,5	4
Габаритные размеры, мм	2900 × 2050 × 2700	2420 × 1440 × 1500
Масса, кг	2000	780

* Российский институт технологии машиностроения «Сириус».

дения в эмульсию различных присадок.

Установка работает следующим образом. В бак 1 для готовой эмульсии заливают требуемое количество воды. В бак для хранения эмульсола 3 насосом 6 закачивают эмульсол. Затем включают насос 5. Вода, эмульсол и присадка (поступающая из емкости 2), предварительно смешанные в трубопроводе, проходят через гидродинамический вибратор 4, где получается готовая эмульсия. Далее СОТС подается насосом 5 непосредственно к станкам либо в бак 1. Эмульсол от длительного хранения может расслаиваться, поэтому в установке предусмотрен смеситель 7, который включается периодически от насоса 6. Контроль уровня в емкостях осуществляется автоматически.

Для приготовления меньших объемов эмульсий предназначена автоматическая ультразвуковая установка, разработанная Одесским политехническим институтом и НПО «Спецтехоснастка».

Техническая характеристика ультразвуковой установки [1]

Производительность установки, м ³ /ч	0,5—5,0
Рабочее давление, МПа	0,5—0,6
Скорость истечения жидкости из сопла, м/с	25—28
Дисперсность частиц эмульсии, мкм	1—3
Интенсивность генерируемых ультразвуковых колебаний, Вт/см ²	1,5—2,0

Существуют и другие установки для приготовления водосмешиваемых СОТС [16, 26, 33], в частности разработанные институтом «Гипростанок» (Москва) ультразвуковые установки для пригото-

вления водных эмульсий СОТС производительностью 2 и 4 м³/ч.

При приготовлении водных растворов синтетических СОТС эффективны автоматические дозаторы типа РЗ КДА фирмы «Хенкель» (ФРГ) и др.

4. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ СОТС В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В процессе эксплуатации СОТС в той или иной мере происходит снижение их качества, проявляющееся в ухудшении технологических показателей металлообработки (снижение стойкости режущего инструмента, ухудшение качества обработанных поверхностей и др.), в появлении дыма и тумана (чаще у масляных СОТС), неприятных резких запахов (чаще при использовании эмульсионных СОТС), изменении внешнего вида (изменение цвета, расслоение), потере защитных антикоррозионных свойств.

Для поддержания эксплуатационных свойств СОТС необходим текущий контроль их качества. Его периодичность регламентирована ГОСТ 12.3.025—80: для СОТС на масляной основе — не реже одного раза в месяц; для эмульсий — не реже одного раза в неделю; для синтетических и полусинтетических жидкостей — не реже одного раза в две недели (для СОТС, используемых в автоматических линиях); контроль содержания микроорганизмов — через каждые пять суток.

Показатели, методы контроля и нормы качества масляных и водосмешиваемых СОТС приведены в табл. 10 и 11. Перечисленные показатели достаточно полно характеризуют качество технологических масел, эмульсий и рас-

10. Показатели и методы текущего контроля масляных СОТС [14, 26]

Контролируемые показатели качества	ГОСТ на методы контроля	Допустимые отклонения от нормы по ТУ
Внешний вид	Визуально	Не допускается расслоение жидкости, выпадение осадка
Запах	Органолептически	Не допускается появление посторонних резких запахов
Вязкость кинематическая при 50 С	33—82	$\pm(2-3)10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$
Температура вспышки в открытом тигле	4333—87*	Допускается повышение температуры вспышки до 5 С
Содержание активных элементов:		
серы	1431—85	$\left. \begin{array}{l} -0,2\% \\ -0,5\% \\ -0,05\% \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{от минимального} \\ \text{значения по ТУ} \\ \text{на СОТС} \end{array}$
хлора	20242—74	
фосфора	9827—75*	
Содержание механических примесей	6370—83*	В зависимости от требований технологического процесса
Содержание воды	2477—65*	Допускается не более 0,03%
Коррозионное воздействие на черные металлы	2917—76*	Не допускается
Число омыления	17362—71*	—5%
Кислотное число	11362—76	Допускается не более 0,5 мг КОН/г

** Наряду со стандартными методами существуют экспресс методы контроля: загрязненности масел—с помощью приборов ОД-10М, АС-110, ПКЖ-90 и др. [2]; содержания воды—с помощью водочувствительной индикаторной пасты «Хамелеон», выпускаемой кооперативом «Хамелеон» при Новороссийском высшем инженерном морском училище.

творов СОТС в различных условиях эксплуатации. Некоторые показатели являются факультативными и контролируются выборочно (ГОСТ 12.3.025—80 не регламентирует перечень обязательных контролируемых показателей качества СОТС). На практике, например при эксплуатации в централизованных системах, у масляных СОТС контролируют вязкость, температуру вспышки, содержание механических примесей и воды, содержание активных элементов (серы, хлора); у водосмешиваемых СОТС—концентрацию, pH, содержание микроор-

ганизмов, «инородного» масла и механических примесей, антикоррозионные свойства [22]. Для СОТС, используемых в индивидуальных системах подачи, перечень контролируемых показателей еще меньше. Концентрация СОТС МР-5у, МР-8, МР-99, ЛЗ-26МО в рабочих растворах в процессе их эксплуатации контролируется по содержанию хлора и числу омыления (кроме МР-8) [14].

Более сложен контроль водосмешиваемых СОТС. Внешний вид, запах контролируются практически ежедневно и могут косвенно свидетельствовать об изме-

11. Основные показатели, методы текущего контроля и нормы качества возмещаемых СОР [6, 26]

Контролируемые показатели качества	Методы контроля, ГОСТ	Норма для рабочей эмульсии или раствора	Тип СОР
Внешний вид	Визуально	Однородная жидкость от молочно-белого до кофейного цвета. Однородные прообразы, подурогравные и опалесцирующие жидкости	Эмульсионные и неэмульсионные СОР Синтетические и неэмульсионные СОР
Запах рН	Органолептически 6243—75 (разд. 4)	Спектифический, не раздражающий 8,5—10,0	Все типы СОР
Концентрация эмульсии или раствора	Методы кислотного разложения (см. с. 353)	Заданная технологическим процессом	Эмульсионные и полусинтетические СОР
	Рефрактометрический метод (см. с. 354)		
Антигирозинимые свойства	6243—75 (разд. 2.1) Метод отпечатков (см. с. 357) Метод разбавления (см. с. 358)	Выдерживает 0—1 балл	Все типы возмещаемых СОР

Продолжение табл. 11

Контролируемые показатели качества	Методы контроля, ГОСТ	Норма для рабочей эмульсии или раствора	Тип СОРС
Содержание однородного мыла	Метод центрифугирования (см. с. 355)	Не более 3% (мас. доля)	Все типы водосмешиваемых СОРС
Содержание механических примесей		0,01—0,2% (мас. доля) (0,1—2,0 г/л) при лезвийной обработке	
	Метод центрифугирования, 10577—78	0,004—0,15% (0,04—1,5 г/л) при абразивной обработке	
Содержание микроорганизмов, бактерий	Метод «глубинного культивирования»	10^5 клеток/мл	Все типы водосмешиваемых СОРС
	Метод с использованием 2,3,5-трифенилтетразолия хлористого (ТТХ) (см. с. 361)		Эмульсионные и полусинтетические СОРС
Грибы	Метод «глубинного культивирования»	10^5 клеток/мл	Все типы водосмешиваемых СОРС

Примечание. Нормы качества СОРС следует уточнять в конкретных производственных условиях с учетом свойств применяемой воды, вида металлообработки, типа обрабатываемого материала и др.

нении некоторых других качественных характеристик СОТС.

Например, при молочно-белом цвете свежеприготовленной эмульсии синевато-белый оттенок рабочей эмульсии свидетельствует о ее заниженной концентрации. Белый цвет с желтым или коричневым оттенком — о наличии в эмульсии «инородного» масла, серый оттенок — о включении примесей металла [6]. По однородности эмульсий можно косвенно судить об их стабильности, а появление гнилого (сероводородного) запаха указывает на поражение СОТС бактериями. Отклонение от нормы органолептических показателей качества водосмешиваемых СОТС чаще всего связано с необратимыми процессами в жидкостях. Поэтому необходима своевременная количественная оценка качества рабочих эмульсий и растворов.

Важнейшей характеристикой водных эмульсий и растворов СОТС является концентрация, определяющая их технологические, антикоррозионные и некоторые другие эксплуатационные свойства. Методики определения концентрации эмульсий и растворов описаны ниже.

Метод кислотного разложения [6, 22] основан на свойстве соляной и серной кислот разрушать эмульсии.

Определение концентрации эмульсионных СОТС методом кислотного разложения

Аппаратура, материалы и реактивы: шкаф сушильный типа 2В-15; цилиндр 2-10; пипетка 2-10-20; палочка стеклянная обыч-

ная типа ТК; кислота серная техническая или кислота соляная техническая плотностью 1,19, разбавленная дистиллированной водой в соотношении 1:1, центрифуга ЦУМ-1 или ОПН-8У4,2 или другого типа, обеспечивающая частоту вращения 2000 мин^{-1} ; пробирки центрифужные градуированные типа ПЦГ.

Подготовка к определению: 1) 200 мл средней пробы рабочей эмульсии отстаивают 24 ч по ГОСТ 6243—75* (разд. 3) или центрифугируют 20 мин при частоте вращения 2000 мин^{-1} ; 2) из полученного среднего слоя отбирают 80 мл для серно-кислотного метода или 100 мл для соляно-кислотного метода и помещают в мерный цилиндр (закрытую указательным пальцем пипетку опускают в эмульсию, на глубине среднего слоя пипетку открывают и отбирают пробу, не допуская попадания верхнего слоя).

Проведение определения: 1) к пробе в мерном цилиндре осторожно по стенкам приливают из пипетки 20 мл концентрированной серной кислоты или 5 мл разбавленной соляной кислоты; 2) раствор перемешивают стеклянной палочкой и отстаивают до полного отделения масла не менее 1 ч при комнатной температуре при разложении серной кислотой или 5 ч в сушильном шкафу при температуре $70—80^\circ\text{C}$; 3) количество отделившегося масла в миллиметрах по соляно-кислотному методу и умноженное на пересчетный коэффициент (1,25) по серно-кислотному методу соответствует количеству концентрата СОТС в рабочей эмульсии, выраженному в процентах. В случае появления пенистого подслоя для расчета берут объем отделившегося масла

и прибавляют половину высоты этого подслоя; 4) концентрацию определяют параллельно в двух цилиндрах. За результат испытаний принимают среднее арифметическое двух определений концентрации СОТС.

Рефрактометрический метод [6] основан на прямо пропорциональной зависимости показателя преломления прозрачных и полупрозрачных водных растворов и мелкодисперсных эмульсий от содержания в них концентрата.

Определение концентрации СОТС рефрактометрическим методом

Аппаратура, материалы и реактивы: рефрактометр типа ИРФ-22, УРЛ-1 с пределами показателя преломления 1,2—1,7; лабораторные весы типа ВЛКТ-50 с погрешностью взвешивания $\pm 0,01$ г; пипетка 2-1-2; палочка стеклянная обычная типа ТК; вата гигроскопическая; спирт этиловый синтетический.

Подготовка к определению: 1) взвешивают на лабораторных весах 1, 2, 3, ..., 9, 10 и 15 г концентрата СОТС с погрешностью до 0,01 г и каждый образец доливают водопроводной водой до общей массы 100 г; растворы тщательно перемешивают стеклянными палочками и выдерживают 40 мин при комнатной температуре; 2) стеклянной палочкой наносят каплю СОТС на входную грань измерительной призмы рефрактометра в горизонтальном положении; дважды определяют показатель преломления градуированного раствора СОТС определенной концентрации и находят его среднее арифметическое значение; 3) по полученным значениям

на миллиметровой бумаге строят градуировочный график, откладывая по оси ординат показатель преломления, а по оси абсцисс — концентрацию эмульсии или раствора СОТС (см. рис. 4)*.

Проведение определения: 1) мерную пипетку закрывают указательным пальцем и опускают в среднюю часть центрифужной пробирки (стараясь исключить попадание верхнего слоя)**; отбирают 1—2 мл рабочего раствора или эмульсии СОТС и кушочком ваты протирают наружные стенки пипетки; 2) каплю СОТС из пипетки наносят на входную грань измерительной призмы рефрактометра в горизонтальном положении; 3) дважды определяют показатель преломления рабочего раствора или эмульсии (перед каждым определением грани призмы рефрактометра протирают ваткой, смоченной в спирте); 4) по среднему арифметическому показателю преломления рабочей СОТС с помощью градуировочного графика определяют процентное содержание концентрата в рабочем растворе или эмульсии***.

При использовании ручных рефрактометров, например фирмы «Атаго» (Япония), экспресс-определение концентрации можно проводить непосредственно у станка с помощью рефрактометра (рис. 3), предварительно установив нуль шкалы прибора по дистиллированной воде и построив

* Градуировочный график строится для каждой отдельной партии СОТС.

** Рекомендуется предварительно пробу центрифугировать для отделения «инородного» масла и механических примесей.

*** Показатель преломления получается завышенным при наличии в рабочем растворе или эмульсии соды.



Рис. 3. Применение ручного рефрактометра при измерении концентрации водного раствора СОТС

градуировочный график (рис. 4) для данной СОТС.

В крупных системах приготовления и подачи СОТС рекомендуется применять автоматические датчики-концентратомеры, сигнализирующие о снижении концентрации ниже допустимого уровня. С этой целью выпускаются автоматические кондуктомеры типов КК-1, КК-2 и КК-3 [4].

Для точного определения концентрации из эмульсии или раствора предварительно удаляют механические примеси и «инородное» масло. Определение их содержания имеет и важное самостоятельное значение. Так, попадание в эмульсию 1—2% «инородного» масла, т. е. масла утечек из смазочных систем и гидросистемы станка (в отличие от масла, входящего в состав концентрата), вызывает потерю стабильности эмульсии, рост анаэробных бактерий и другие качественные изменения.

Метод определения содержания незаэмульгированного «инородного» масла и механических примесей [6, 22] основан на отделении масла и примесей при цент-

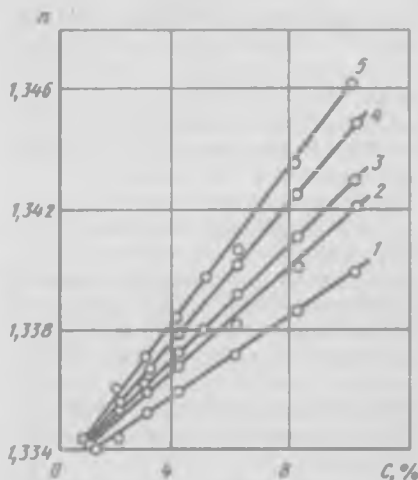


Рис. 4. Пример построения градуировочных графиков зависимости показателя преломления n от концентрации C рабочих эмульсий и растворов СОТС (приготовленных на воде жесткостью 4,6 мг-жв/л): 1—Аквол-14; 2—Аквол-10М; 3—Аквол-11; 4—Аквол-6; 5—Укринол-1М

рифугировании проб рабочих эмульсий и растворов СОТС.

Определение содержания в СОТС незаэмульгированного «инородного» масла и механических примесей

Аппаратура, материалы и реактивы: центрифуга (ЦУМ-1, ОПН-8У24 или другого типа) с частотой вращения 2000 мин⁻¹; пробирки центрифужные градуированные типа ПЦГ; весы аналитические типа ВЛР-200; шкаф сушильный электрический типа 2В-151; секундомер; пипетка 3-01-10; изопропиловый спирт.

Подготовка к определению: 1) взвешивают на аналитических весах две чистые сухие центрифуж-

ные пробирки с погрешностью до 0,0002 г; 2) включают секундомер и перемешивают содержимое тары с пробой энергичным встряхиванием в течение 2 мин; 3) пробу наливают в две центрифужные пробирки до метки 10 мл и помещают в гнезда центрифуги.

Проведение определения: 1) пробу эмульсии или раствора центрифугируют 20 мин при частоте вращения 2000 мин^{-1} ; измеряют объем минерального масла (верхний слой) в миллилитрах и визуально отмечают наличие или отсутствие механических примесей (нижний слой); 2) при наличии механических примесей из пробирки осторожно сливают эмульсию и пипеткой добавляют в нее 5 мл изопропилового спирта; 3) пробу вновь центрифугируют 5 мин, спирт сливают, и пробирку с механическими примесями выдерживают 20—30 мин в сушильном шкафу при температуре 70—100 °C; 4) после охлаждения на открытом воздухе пробирку с механическими примесями взвешивают на аналитических весах; разность между полученным результатом и исходной массой пробирки соответствует содержанию механических примесей в граммах в данном объеме пробирки; 5) содержание незаэмульгированного масла и механических примесей выражают в процентах, для чего соответственно объем верхнего слоя в миллилитрах и содержание механических примесей в граммах умножают на коэффициент, представляющий собой отношение числа 100 к объему пробы в пробирке в миллилитрах; 6) испытание проводят параллельно в двух пробирках; за результат испытаний принимают среднее арифметическое из

двух определений.

На финишных операциях абразивно-алмазной обработки контроль содержания в СОТС механических примесей должен проводиться более точными методами, в частности основанными на ГОСТ 10577—78. Величина pH, показывающая степень кислотности или щелочности среды, характеризует степень накопления в рабочих эмульсиях и растворах кислых продуктов. Значения pH ниже нормы (8,5—9,5) свидетельствуют о возрастании коррозионной агрессивности и развитии микрофлоры в эмульсиях и растворах. При значениях pH выше нормы возможны раздражение кожи, повышенное пенообразование и коррозия цветных металлов.

Измерение pH эмульсий и растворов проводят по ГОСТ 6243—75 или с помощью универсальной индикаторной бумаги. При эксплуатации крупных централизованных систем приготовления и подачи СОТС целесообразно использовать автоматические pH-метры в комплекте с датчиками (погружными, проточными или магистральными) и преобразователями [33].

Регулярная и своевременная оценка антикоррозионных свойств эмульсий и растворов в процессе их эксплуатации имеет большое значение для предупреждения коррозии деталей.

Помимо методов определения коррозионной агрессивности эмульсий, описанных в ГОСТ 6243—75 (капельный метод и метод контактных пар), существуют и другие методы оценки коррозионной агрессивности СОТС.

Метод отпечатков [6] основан на свойстве чугуна реагировать с коррозионно-активными водны-

ми эмульсиями и растворами, образуя окрашенные продукты коррозии.

Определение коррозионной агрессивности СОТС методом отпечатков

Аппаратура, материалы и реактивы: весы лабораторные типа ВЛТК-500 или другого типа с погрешностью $\pm 0,01$ г; чашка стеклянная лабораторная диаметром 100 мм (чашка Петри); пипетка 2-1-2; стружка из чугуна СЧ18 или СЧ21 длиной 3—7 мм, шириной 2—5 мм, толщиной 0,4—0,5 мм; петролейный эфир; бумага фильтровальная лабораторная; шпатель из коррозионно-стойкого материала.

Подготовка к определению: проводят визуальный осмотр стружки на отсутствие коррозии, не прикасаясь к ней руками. Срок хранения стружки не должен превышать двух-трех недель после ее получения.

Проведение определения: 1) на круглый бумажный фильтр диаметром 50 мм, помещенный в чашку Петри, с помощью шпателя равномерно наносят $(2 \pm 0,1)$ г чугунной стружки. Мерной пипеткой отбирают 2 мл хорошо перемешанной рабочей эмульсии или раствора и равномерно смачивают стружку на фильтре; 2) чашку Петри закрывают крышкой и выдерживают 2 ч при нормальной температуре, при этом чашка не должна подвер-

12. Оценка степени коррозии чугунной стружки и металлической пластинки в баллах [6]

Балл	Оценка	Внешний вид фильтра	Внешний вид пластинки
0	Отсутствие коррозии	Без изменений	Без изменений или незначительная потеря металлического блеска
1	Следы коррозии	До трех пятен диаметром менее 1 мм	Отсутствие коррозионных пятен от 10 капель исходной эмульсии или раствора и образование не более одного-двух коррозионных пятен от 10 капель разбавленного СОТС
2	Легкая коррозия	Пятна диаметром более 1 мм	Отсутствие коррозионных пятен от 10 капель исходного СОТС и образование не более трех коррозионных пятен от 10 капель разбавленного СОТС
3	Умеренная коррозия	Пятна (см. рис. 5)	Появление не более трех коррозионных пятен от 10 капель исходного СОТС и сплошная коррозия от 10 капель разбавленного СОТС
4	Сильная коррозия	То же	Появление более трех коррозионных пятен от 10 капель исходного СОТС и сплошная коррозия от 10 капель разбавленного СОТС

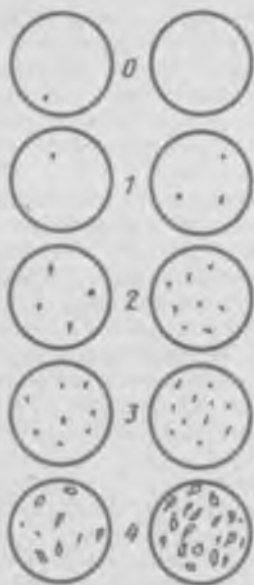


Рис. 5. Оценка в баллах (от 0 до 4) коррозионной агрессивности СОТС по внешнему виду фильтра [6]

гаться воздействию сквозняков и солнечных лучей; 3) стружку удаляют, круглый бумажный фильтр погружают на 5 с в петролейный эфир и просушивают при нормальной температуре; 4) СОТС считается выдержавшим испытание, если на фильтровальной бумаге полностью отсутствуют коррозионные пятна; в случае наличия коррозионных пятен степень коррозии оценивают в баллах по табл. 12 и рис. 5; 5) результаты параллельных определений (степень коррозии в баллах) не должны отличаться более чем на один балл. За результат испытаний принимается большая степень коррозии.

Метод разбавления [6] основан на увеличении коррозионной аг-

рессивности СОТС при их разбавлении водой.

Определение коррозионной агрессивности СОТС методом разбавления

Аппаратура, материалы и реактивы: пластинка из мегалла, на которой испытывают агрессивность СОТС, размером $100 \times 50 \times 5$ мм или диски диаметром 50—70 мм; шлифовальная шкурка на бумажной основе зернистостью 3 или 5; пипетка 2-1-2; цилиндр 2-10; вата гигроскопическая; спирт этиловый.

Подготовка к определению: 1) рабочую поверхность пластинки перед каждым испытанием зачищают шлифовальной шкуркой вручную или механически до достижения шероховатости $Ra = 2,5 \pm 0,63$ мкм и обезжиривают спиртом. Не допускается касание рабочей поверхности металла пальцами; 2) испытуемое СОТС тщательно перемешивают и разбавляют водой (1:1), используемой для приготовления СОТС (отбирают по 2 мл рабочей эмульсии или раствора и воды в цилиндр и перемешивают).

Проведение определения: 1) на обезжиренную пластинку пипеткой наносят по 10 капель испытуемой эмульсии или раствора (разбавленного и неразбавленного). Расстояние между каплями и от края пластинки должно быть не менее 7—10 мм; 2) пластинку с пробами выдерживают на воздухе при температуре не менее 25°C до испарения воды (ориентировочно 30—60 мин); 3) пластинку протирают ватой, смоченной в спирте, и осматривают визуально; 4) рабочая эмульсия или раствор СОТС считаются вы-

державшими испытание, если на пластинке полностью отсутствуют коррозионные пятна. В случае наличия коррозионных пятен степень коррозии оценивают в баллах по табл. 12; испытание проводят параллельно на двух пластинках из одного и того же металла. Результаты параллельных определений не должны отличаться более чем на один балл. Если внешний вид пластинки соответствует промежуточному баллу, то за результат испытаний принимают большую степень коррозии.

Важнейшим элементом текущего контроля водосмешиваемых СОТС является определение степени поражения жидкости микроорганизмами.

Практически все водные технологические средства, особенно эмульсии, подвержены влиянию микроорганизмов различных физиологических групп — аэробных и анаэробных бактерий, грибов, дрожжей. Микроорганизмы попадают в СОТС с водой, пылью, потоками воздуха, с одежды и рук работающих. Основным источником инфицирования свежеприготовленного СОТС являются остатки отработанной жидкости, сохранившейся в трубопроводах, емкостях, застойных зонах после недостаточной очистки и дезинфекции оборудования. Вода, углеродороды масел, некоторые химические соединения, содержащиеся в эмульсиях и растворах СОТС, внешние загрязнения образуют среду, благоприятную для роста и размножения многих микроорганизмов. В первой фазе биопоражения СОТС, когда жидкость имеет относительно высокое содержание кислорода, преобладают аэробные микроорганизмы (*Pseudomonas* и др.). Жизнедеятельность

этих бактерий прямо или косвенно приводит к разрушению базовых масел, являющихся основой эмульсолов. В процессе жизнедеятельности аэробов концентрация растворенного кислорода в эмульсии уменьшается, и она становится восприимчивой к поражению анаэробными сульфатвосстанавливающими бактериями (*Desulfovibrio sp.*), разрушающими серосодержащие компоненты СОТС. Растворы полусинтетических и синтетических СОТС наряду с бактериями могут интенсивно поражаться грибной микрофлорой. Пленки грибов (видов *Aspergillus sp.*, *Penicillium sp.*, *Cladosporium sp.* и других) образуются в застойных местах, зонах испарения и разбрызгивания СОТС [9, 11, 13]. Оценка степени биоповреждения различных типов водосмешиваемых СОТС приведена в [9, 13].

Жизнедеятельность микроорганизмов усиливается при повышении температуры эмульсии или раствора до 30—40 °С, в застойных зонах, при отсутствии циркуляции жидкости и плохом доступе свежего воздуха, при уменьшении концентрации эмульсии и растворов, при увеличении содержания в СОТС механических примесей и «инородного» масла [4, 9, 13].

Предельно допустимое количество микроорганизмов, в частности бактерий, которое еще не оказывает отрицательного воздействия на физико-химические и эксплуатационные свойства водосмешиваемых СОТС, составляет $1 \cdot 10^5$ клеток/мл. Увеличение их количества, превышающее допустимое значение, влечет за собой появление неприятного запаха

13. Степень биопоражения СОТС в зависимости от цвета эмульсии с ТТХ [12]

Количество бактерий, клеток, мл	Балл	Характер и интенсивность окрашивания эмульсии с ТТХ
0	0	Цвет эмульсии не изменился
До 10 000	I	Незначительное окрашивание в виде пятен или кольца
10 000—100 000	II	Ярко-красная окраска в виде пятна на дне пробирки
100 000—100 000 000	III	Розовая окраска всей эмульсии в пробирке
Более 100 000 000	IV	Ярко-красная окраска всей эмульсии в пробирке

и изменение внешнего вида, снижение значения pH, возникновение следов коррозии, уменьшение концентрации эмульсии, ухудшение смазывающих, технологических и санитарно-гигиенических свойств СОТС. Например, при содержании бактерий в эмульсии Укринол-1 до $5 \cdot 10^8$ клеток/мл эмульсия приобрела черный цвет, появился резкий неприятный запах сероводорода, pH снизился с 9,5 до 7,9, жидкость расслоилась, стала коррозионно-активной, концентрация эмульсий уменьшилась с исходной 3% почти до нуля [11]. Биопоражение эмульсий сокращает срок их службы до одной—трех недель, поэтому для борьбы с биопоражением СОТС необходимо своевременное и точное определение количества микроорганизмов в рабочих эмульсиях и растворах.

Численное определение содержания бактерий и плесневых грибов в СОТС проводят методами «глубинного культивирования» с использованием различных питательных сред [23, 30]. Определения по методу «глубинного культивирования» трудоемки и могут быть выполнены квали-

фицированным микробиологом. За рубежом в практике экспресс-контроля степени биопоражения СОТС на металлообрабатывающих предприятиях нашли широкое применение микробиологические индикаторы (биотесты) [36]. Доступным и простым в заводских условиях является метод оценки микробиологического поражения СОТС аэробной микрофлорой с помощью индикатора 2, 3, 5-трифенилтетразолия хлористого (ТТХ) [12].

Метод основан на определении дегидрогеназной активности микрофлоры, обитающей в СОТС. Окисленная форма ТТХ имеет бесцветную окраску; восстановленная, называемая формазаном, приобретает ярко-красный цвет. Поэтому при микробиологическом поражении эмульсий содержится красную окраску, интенсивность которой зависит от количества микроорганизмов в СОТС (табл. 13). Чем больше бактерий, тем ярче окраска и тем скорее она проявится. При очень сильном микробиологическом поражении, когда эмульсия практически испорчена, ярко-красная окраска

всей жидкости в пробирке появляется уже через 1—2 ч после внесения ТТХ.

Определение степени микробиологического поражения водосмешиваемых СОТС с помощью индикатора ТТХ

Аппаратура, реактивы и материалы: 2, 3, 5-трифенилтетразолий хлористый (ТТХ); термостат, обеспечивающий постоянство температуры (30 ± 5) °С; шкаф сушильный лабораторный; пробирки стеклянные диаметром 16 и 20 мм, высотой 150, 200 мм; пипетки стеклянные градуированные на 1, 2, 5 и 10 мл; цилиндры мерные на 10 мл; вода дистиллированная; весы аналитические типа АДВ-200.

Подготовка к определению: 1) готовят 0,5%-ный раствор ТТХ; для этого 0,5 г ТТХ взвешивают с точностью до 0,01 г, помещают в мерный цилиндр и доливают дистиллированной водой до 100 мл; для растворения ТТХ цилиндр энергично взбалтывают; 2) промывают и высушивают пробирки (при 260 °С в течение 6—8 ч).

Проведение определения: 1) в пробирки наливают по 9 мл испытуемой эмульсии и по 1 мл 0,5%-ного раствора ТТХ; содержимое пробирки тщательно перемешивают; 2) пробирки помещают в термостат и при температуре (30 ± 5) °С выдерживают в течение 12—24 ч; 3) оценивают визуально наличие и интенсивность окраски эмульсии в пробирке; определяют балл микробиологического поражения СОТС и пределы содержания бактерий (см. табл. 13).

Иногда, например после корректировок, возникает необходимость контроля пенообразующей способности эмульсии или раствора и содержания в жидкости соды, нитрита натрия, бактерицидной присадки. Склонность СОТС к пенообразованию и устойчивость пены определяют методами, изложенными в технических условиях на продукт. Чаще всего эти методы заключаются в продувании через заданный объем рабочей эмульсии или раствора определенного объема воздуха через пористый фильтр с постоянной скоростью и определении высоты столба пены и ее стойкости во времени [22]. Кратность и стойкость пены можно оценить и более простым методом — встряхиванием [6].

Методика определения кратности и стойкости пены

Метод основан на встряхивании цилиндра с СОТС и определении высоты столба полученной пены.

Аппаратура: цилиндр 2-2-250, секундомер.

Подготовка к определению: в чистый сухой цилиндр наливают 100 мл СОТС, закрывают пробкой, переворачивают в горизонтальное положение и включают секундомер.

Проведение определения: 1) цилиндр с эмульсией встряхивают 200 качающими движениями в горизонтальной плоскости с амплитудой 35 см в течение 1 мин; 2) цилиндр ставят на горизонтальную поверхность и определяют разность (см³) между поверхностью пены и мениском эмульсии; отношение высоты столба пены к 100 мл эмульсии соответствует кратности пены; 3) после

1 мин отстаивания снова измеряют количество пены (см^3), что соответствует стойкости пены; 4) за результат испытаний принимают среднее арифметическое трех определений.

Нормы содержания соды и нитрита натрия в эмульсиях определяются концентрациями, рекомендуемыми техническими условиями на СОТС, но обычно не более 0,3%. Методики определения содержания [6, 20] кальцинированной соды и нитрита натрия титрованием приведены ниже.

Определение концентрации содового раствора

Аппаратура, материалы и реактивы: колба коническая на 50 мл, бюретка на 25 мл, пипетки на 10—25 мл; палочка стеклянная типа ТК; кислота соляная удельной массой 1,19; индикатор метиловый оранжевый.

Подготовка к определению: приготавливают 0,1 н. раствор соляной кислоты.

Проведение определения: 1) в коническую колбу вносят эмульсию, содержащую соду, и титруют 0,1 н. раствором соляной кислоты в присутствии метилоранжа до появления розовой окраски; 2) содержание (%) кальцинированной соды рассчитывают по формуле

$$\text{Na}_2\text{CO}_3 = \frac{aT \cdot 53}{V \cdot 36,5} \cdot 100\%,$$

где a — количество 0,1 н. раствора соляной кислоты, израсходованной на титрование, мл; T — титр 0,1 н. (HCl); 53 — эквивалентная масса соды; V — объем содового раствора, мл; 36,5 — молекулярная масса соляной кислоты.

За результаты испытаний принимают среднее арифметическое двух определений.

Определение содержания в растворе нитрита натрия

Аппаратура, материалы и реактивы: колбы конические на 100 и 300 мл, пипетки на 10—25 мл, микропипетка на 0,5 мл, хлорид натрия, серная кислота, перманганат калия, вода дистиллированная.

Подготовка к определению: 1) приготовить 25 мл профильтрованного насыщенного раствора хлорида натрия; приготовить 20%-ный раствор серной кислоты; 3) приготовить 0,1 н. раствор перманганата калия.

Проведение определения: 1) в коническую колбу переносят пипеткой 25 мл эмульсии и добавляют 25 мл профильтрованного насыщенного раствора хлорида натрия; смесь энергично взбалтывают и 5—10 мин отстаивают, после чего прозрачный фильтрат сливают в бюретку; 2) в коническую колбу емкостью 300 мл вливают 100 мл дистиллированной воды и 3 мл химически чистой 20%-ной серной кислоты; раствор нагревают до 50 °С, прибавляя в него из микропипетки 0,5 мл 0,1 н. раствора перманганата калия и титруют до обесцвечивания анализируемым раствором (фильтратом, находящимся в бюретке); 3) содержание (%) нитрита натрия рассчитывают по формуле

$$\text{NaNO}_2 = \frac{0,001725K}{a} \cdot 2 \cdot 100\%,$$

где a — количество фильтрата, израсходованное на титрование и содержащее 50% эмульсии, мл;

2 — коэффициент приведения концентрации эмульсии в фильтре к 100%; 0,001725 — количество нитрита натрия, соответствующее 0,5 мл 0,1 н. раствора перманганата калия, г; K — поправочный коэффициент для 0,1 н. раствора перманганата калия;

$$K = T_{\text{пипет}} / T_{\text{теор}} (T — титр).$$

Отклонение полученных результатов от среднего арифметического допускается не более $\pm 0,1\%$.

Возможно применение и индикаторного метода определения нитрита натрия, при котором измерение содержания нитрит-иона проводят визуальным сравнением розовой окраски эмульсии с добавкой реактива Грисса с искусственной шкалой или по градуировочному графику на спектрофотометре типа ФЭК-56 [24].

Концентрация бактерий в эмульсиях и растворах должна соответствовать рекомендованной, а контроль их содержания при необходимости осуществляют методом диффузии в агар.

Пробы СОТС для текущего контроля концентрации, антикоррозионных свойств, содержания микроорганизмов, «инородного» масла, механических примесей и других показателей отбирают при работающем оборудовании из сопл подачи СОТС в зону резания. Объем проб 200—300 мл. Перед проведением физико-химического контроля пробы СОТС тщательно перемешивают, температуру их доводят до 20—22 С.

Помимо перечисленных показателей часто необходимы контроль температуры жидкости, ее давления и уровня, в частности в централизованных системах подачи СОТС. Температуру СОТС изме-

ряют электроконтактными термометрами типа ТНП-СК (предел измерения 0—100 С, класс точности 2,5), давление — манометрами общего назначения по ГОСТ 8625—77, уровень — поплавковыми реле контроля уровня типа РП1065, РУМ1-100, РП-40 и др. [33].

За рубежом применяются переносные мини-лаборатории оперативного экспресс-контроля качества СОТС непосредственно на рабочих местах, включающие ручные: рефрактометр, рН-метр, кондуктомер, биотесты, индикаторы жесткости воды, содержания бактерицида в СОТС и ряд других принадлежностей.

Регулярный и точный контроль качества СОТС в процессе работы является неотъемлемой частью комплекса мероприятий по продлению их срока службы и необходим для своевременной и эффективной корректировки эксплуатационных свойств технологических сред.

5. КОМПЛЕКС МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПРОДЛЕНИЮ СРОКА СЛУЖБЫ СОТС

Достижение длительного срока службы и сокращение общего расхода СОТС*, поддержание технологической эффективности среды могут быть обеспечены только при комплексном подходе к применению СОТС на всех этапах их эксплуатации. Например, на Волжском автомобильном заводе система функционирования (использования) СОТС представляет

* Методы расчета и нормы расхода СОТС при эксплуатации металлорежущего оборудования приведены в работах [4, 14, 16, 26].

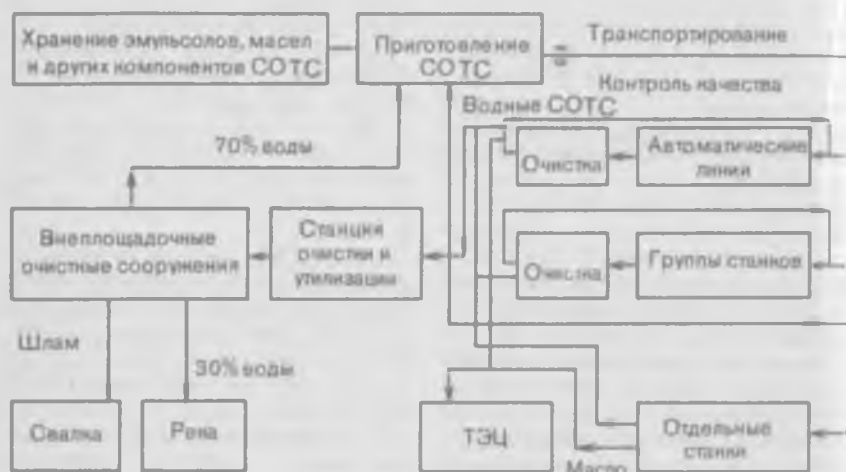


Рис. 6. Структурная схема хозяйства СОТС ВАЗа [22]

собой единый комплекс, обеспечивающий хранение эмульсолов и масел, приготовление СОТС и транспортирование их по цехам, раздачу по металлорежущим станкам и автоматическим линиям, подачу в зону резания, сбор со станков, очистку и поддержание постоянных свойств в процессе эксплуатации, слив с металлорежущего оборудования отработавших СОТС, подготовку эмульсии к сбросу (сливу) и сброс, а также сжигание отработанных масел [22].

Структурная схема хозяйства СОТС ВАЗа приведена на рис. 6 в виде производственных оперативных элементов (хранение, приготовление, обслуживание, сброс и т. п.), объединенных линиями транспортирования с указанием направления движения. После приготовления СОТС проходят контроль качества, транспортируются в механосборочные цехи, поступают на автоматические

и поточные линии и отдельные станки. Автоматические линии и группы станков имеют свою замкнутую систему использования СОТС, включающую установки подачи и очистки. В процессе эксплуатации качество СОТС в системах контролируется. Для предотвращения разложения эмульсий при отсутствии потребления предусмотрены циркуляция и возврат их в отделение приготовления. Отработанные эмульсии со станков поступают на станцию очистки и утилизации и внеплощадочные очистные сооружения. После контроля качества очистки 70% воды возвращается на завод для приготовления СОТС, а 30% воды сбрасывается в реку. Отработанные масляные СОТС поступают на ТЭЦ для сжигания [22].

В целом комплекс мероприятий по продлению срока службы СОТС на предприятии должен включать выбор оптимальной но-

менклатуры СОТС, систем и способов их подачи, их рациональное хранение, транспортирование, приготовление и контроль качества, очистку, мойку и дезинфекцию оборудования систем приготовления и подачи СОТС, обеспечение стабильности эксплуатационных свойств СОТС, регенерацию, разложение и утилизацию отработавших жидкостей. Важное место среди этих работ занимает обеспечение стабильности эксплуатационных свойств СОТС в течение всего срока службы технологической среды.

Очистка СОТС от механических примесей и основы выбора соответствующих устройств системы подачи и фильтрации СОТС достаточно полно описаны в п. 7 этой главы, и в работах [4, 18, 22, 33]*. Масляные СОТС, как правило, имеют длительный срок службы, достигающий в автоматических линиях одного-двух лет [22]. Вместе с тем санитарные правила [25] регламентируют смену масляных СОТС один раз в три месяца. Чаше приходится сталкиваться с разрушением и изношением масляных СОТС при абразивно-алмазном шлифовании. Стабильность технологических свойств масляных СОТС на этих операциях поддерживается тщательным регулированием расхода жидкости, ее температуры (вплоть до включения в систему промежуточного холодильника), очисткой от механических примесей, регенерацией, использованием эффективных корректирующих присадок [4, 26, 33].

При отклонении от норм показателей качества масляных СОТС (см. табл. 10) мероприятия по восстановлению их свойств сводятся к добавлению свежего СОТС или концентрата и очистке и регенерации жидкости (при необходимости). Регенерация масляных СОТС в общем виде включает в себя [26]: сбор загрязненного СОТС в отстойную емкость, снабженную сетчатым фильтром для оседания грязи и мелких частиц металла; подогрев СОТС паром до 70—80 °С (для улучшения осаждения отдельных твердых частиц); подогрев СОТС, содержащего воду, до 100 °С, т. е. полное выпаривание воды; очистку и фильтрацию СОТС. Для этих целей можно использовать станцию для регенерации масляных СОТС (производительностью 0,05—0,1 м³/ч), передвижную маслоочистительную установку ПМС-1-3000 [14, 19].

Если регенерированное СОТС после добавления к нему 20—30% свежего СОТС имеет высокое кислотное число или оказывает коррозионное действие на черные металлы, то в СОТС вводят 0,5—1,5% присадки МАСК (ОСТ 38 01100—76) или С-300 (ТУ 38 101444—76), перемешивая их при температуре 40—50 °С [14] (применение присадок — нефтяных сульфонатов кальция марок С-150, ПМС-А, -Б, -Я (8—10%) при эксплуатации СОТС МР-7 предусмотрено ОСТ 38 01445—80). Если регенерированное СОТС уступает свежему по основным эксплуатационным свойствам, его используют на менее тяжелых операциях резания металлов.

Значительно больше проблем возникает при эксплуатации водосмешиваемых СОТС, особенно

* Рекуперация, т. е. удаление СОТС из стружки и аэрозолей, также описана в этих работах и п. 8 этой главы.

эмульсионного типа. Срок службы (технологическая стойкость) водосмешиваемых СОТС меньше, чем масляных, и определяется их свойствами и условиями эксплуатации: типом и составом СОТС; заданной концентрацией эмульсии или раствора; типом операции резания; свойствами обрабатываемого и инструментального материала; временем года; применяемыми биоцидными присадками; наличием и способом очистки жидкости; свойствами воды, применяемой для приготовления эмульсий и растворов, и способом их приготовления; культурой производства, применяющего СОТС, и др. Большое значение имеют своевременные контроль и корректировка (восстановление) качества СОТС в процессе эксплуатации. Например, при выполнении мероприятий по технике применения срок службы эмульсий Укринал-1 в централизованных фильтрующих системах автоматических линий достигает четырех—шести месяцев [22]. То же СОТС в условиях низкой культуры производства при отсутствии корректирующих добавок биоцидов работает две-три недели. По ГОСТ 12.3.025—80 и санитарным правилам [25] эмульсии, использованные при лезвийной обработке на станках с индивидуальной системой охлаждения, рекомендуется заменять один раз в месяц, а в летнее время—один раз в две недели; при обработке черных металлов—не реже одного раза в две недели; при обработке алюминевых сплавов—один раз в неделю.

Мероприятия по корректировке (восстановлению) качества и продлению срока службы водосмешиваемых СОТС следует проводить

на основании данных текущего контроля—при отклонении показателей качества от нормы (см. табл. 11) и при ухудшении эксплуатационных свойств жидкостей. Основные из этих мероприятий приведены в табл. 14. При выборе корректирующих добавок, их концентрации и последовательности введения в СОТС необходимо руководствоваться рекомендациями по эксплуатации конкретных марок СОТС.

Важнейшим мероприятием по продолжению сроков службы водосмешиваемых СОТС является защита их от биопоражения. Один из наиболее эффективных и распространенных методов защиты—химический, с использованием биоцидных присадок (см. табл. 14). Для подавления микроорганизмов в СОТС предложено довольно много методов—физических (термопастеризация, ионизационное, ультрафиолетовое и электромагнитное облучение, обработка ультразвуком и др.), механических (принудительная циркуляция, удаление масла и пены с поверхности жидкости, фильтрация, центрифугирование, устранение застойных зон), химических (озонирование, применение биоцидов) [4, 16].

Для эффективной защиты СОТС от биопоражения целесообразно применять сочетания нескольких методов и различные по химической природе биоциды с целью предотвращения возможной адаптации микроорганизмов к действию антимикробных средств. ГОСТ 12.3.025—80 наряду с биоцидными присадками (см. табл. 3) рекомендует применять антимикробные препараты, %: каптин—0,15—1,0, мертиолат—0,0001—0,001, ортофенил фенолят

14. Мероприятия по корректировке качества водосмениваемых СОТС

Ухудшение эксплуатационных свойств СОТС	Возможные причины	Мероприятия
1. Технологических: снижение стойкости инструмента, повышение шероховатости обработанной поверхности	1.1. Изменение концентрации эмульсии или раствора СОТС	При пониженной концентрации — добавление расчетного количества концентрата, желательно в виде концентрированной эмульсии или раствора. При повышенной концентрации — разбавление водой (предпочтительнее паровым конденсатом или умягченной водой). Последующий контроль концентрации, pH и антикоррозионных свойств СОТС
	1.2. Повышенное содержание механических примесей в СОТС *	Очистка и фильтрация рабочей эмульсии или раствора. Контроль содержания в СОТС механических примесей
	1.3. Повышенное содержание «инородного» масла *	Удаление отслоившегося «инородного» масла. Предотвращение утечек масла в СОТС из гидросистемы и смазочной системы станка. Установка маслоуловителей и маслосборников в отстойных емкостях СОТС. Контроль содержания «инородного» масла
2. Антикоррозионных: появление коррозии обрабатываемых деталей и оборудования	2.1. Пониженная концентрация рабочей эмульсии или раствора	При концентрации СОТС ниже рекомендуемой — повышение концентрации добавлением расчетного количества концентрата, желательно в виде концентрированной эмульсии или раствора. Последующий контроль концентрации, pH и антикоррозионных свойств
	2.2. Малое значение pH	При pH менее 8,5 — добавление или 0,1% (мас. доля) соды, или 0,4% (мас. доля) буры, или 0,2% (мас. доля) моно- или триэтаноламина **. Последующий контроль pH и антикоррозионных свойств

* Особенно на шлифовальных операциях

** Непосредственное введение соды и буры может вызвать разрушение эмульсии, поэтому необходимо предварительно растворить эти реагенты в воде, а затем раствор добавить в эмульсию при тщательном перемешивании.

Продолжение табл. 14

Ухудшение эксплуатационных свойств СОРС	Возможные причины	Мероприятия
3. Повышенное пенообразование	2.3. Повышенное содержание микроорганизмов	При содержании микроорганизмов более $1 \cdot 10^3$ клеток/мл — введение в рабочую эмульсию или раствор рекомендуемой биоцидной присадки (см. табл. 3) или дезинфектанта. Последующий контроль содержания микроорганизмов и антикоррозионных свойств
	2.4. Повышенная жесткость воды для приготовления СОРС	Умягчение воды методами, рекомендованными в п. 3 и табл. 7 этой главы. Применение парового концентрата для разбавления СОРС при корректировке ее концентрации. Последующий контроль антикоррозионных свойств
	2.5. Пониженное содержание ингибитора коррозии	Добавление нитрита натрия до 0,3% (мас. доля) или бензоата натрия до 0,1% (мас. доля) или их смесей с моно- или триэтаноламином в воде. Последующий контроль антикоррозионных свойств и содержания нитрита натрия
	3.1. Повышенная концентрация рабочей эмульсии или раствора	При повышенной концентрации — разбавление водой или паровым конденсатом. Последующий контроль концентрации и пенообразующей способности СОРС
	3.2. Пониженная жесткость воды для приготовления СОРС	При жесткости воды менее рекомендованной (см. табл. 6 этой главы) — повышение ее методами, рекомендованными в табл. 7 этой главы. Последующий контроль пенообразующей способности СОРС. При неэффективности указанных мероприятий рекомендуется ввести пеногаситель одной из следующих марок, мас. долей, %: СЭ-6—0,03—0,04; 131-85 (ПМС-154А), ЭАП-40, АС-60—0,01—0,1; 139-104—0,1; 131-86 (ПМС-1000А)—0,05; КЭ 10-01—0,08—0,1 и др.

Продолжение табл. 14

Ухудшение эксплуатационных свойств СОТС	Возможные причины	Мероприятия
4. Появление пленок и отложений на обрабатываемых деталях и оборудовании ***	4.1. Повышенная концентрация рабочего раствора СОТС 4.2. Повышенное содержание микроорганизмов	Разбавление водой — паровым конденсатом с последующим контролем концентрации См. мероприятия по п. 2.3.
5. Санитарно-гигиенических: появление неприятного запаха, раздражение кожи рук; изменение внешнего вида и снижение срока службы СОТС	5.1. Повышенное содержание микроорганизмов 5.2. Повышенное содержание «инородного» масла 5.3. Повышенное содержание механических примесей 5.4. Малое значение pH 5.5. Повышенная концентрация СОТС	См. мероприятия по п. 2.3. Профилактическая мера при наличии неприятного запаха после остановки станка (во время ремонтов, в выходные и праздничные дни) — циркуляция рабочей эмульсии или раствора, продувка воздухом с последующим контролем содержания микроорганизмов См. мероприятия по п. 1.3 См. мероприятия по п. 1.2 См. мероприятия по п. 2.2 См. мероприятия по п. 3.1

*** Возможно при эксплуатации синтетических и полусинтетических СОТС.

Примечание. При эксплуатации СОТС необходимо выполнение требований техники безопасности, технических условий на продукты, ГОСТ 12.3.025—80 и санитарных правил.

натрия—0,6—1,25, фурацилин—0,01. Помимо химического метода защиты СОТС от биопоражения ГОСТ 12.3.025—80 регламентирует применение периодической пастеризации жидкости, заключающейся в нагреве СОТС до 75—80 °С, кратковременной выдержке и последующем охлаждении в регенераторе или охладителе до рабочей температуры. Схема типовой установки для пастеризации

водных эмульсий и растворов СОТС приведена в работе [26]. Установка для термической обработки жидкостей, позволяющая нагревать СОТС без доступа воздуха до 100—120 °С, выдерживать при этой температуре и охлаждать до окружающей температуры описана в работе [16].

Повышению срока службы водосмешиваемых СОТС способствуют периодические аэрации

жидкости и удаление с ее поверхности всплывшего «инородного» масла. В неподвижной эмульсии, покрытой пленкой масла, содержание кислорода снижается, что создает благоприятные условия для развития анаэробных бактерий. Сущность аэрации состоит в продувке через СОТС воздуха (под давлением 0,2—0,3 МПа в течение 2—3 ч один раз в сутки согласно ГОСТ 12.3.025—80), кислорода, озона, паров йода [4]. При этом повышается окислительно-восстановительный потенциал СОЖ; удаляется сероводород и углекислый газ; интенсифицируются биохимические процессы, приводящие к гибели микроорганизмов; повышается pH среды; уменьшается неприятный запах. Особенно необходима аэрация в централизованных системах приготовления и подачи СОТС во время длительных простоев. Различные схемы механических и пневматических аэраторов приведены в работе [4].

Для устранения «инородных» масел наиболее часто применяются механические устройства (поплавковые маслосборники, центрифуги, ленточные конвейеры, ремненные, дисковые и другие устройства), удаляющие пленку

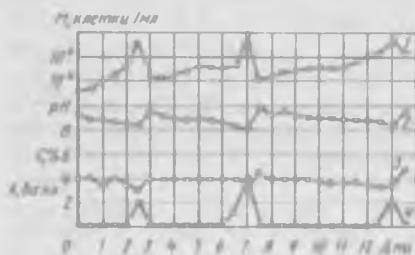


Рис. 7. Изменение содержания микроорганизмов M (1), pH (2), концентрации C (3) и балла коррозионной агрессивности A (4) в эмульсии СОТС [36]

масла с поверхности СОТС в отстойных емкостях [4, 16, 36, 37]. Например, в станции регенерации и подачи водосмешиваемых СОТС [19] для удаления «инородного» масла используется сепаратор (станция производительностью $8 \text{ м}^3/\text{ч}$ позволяет принять эмульсию со станков, очистить ее от механических примесей и «инородных» масел, откорректировать концентрацию эмульсола и присадок, охладить СОТС и подать на металлорежущие станки).

Большинство корректируемых показателей качества СОТС взаимосвязаны, что хорошо иллюстрируется диаграммами, приведенными на рис. 7. Диаграммы показывают взаимосвязь содержания микроорганизмов — M , значения pH, концентрации C и антикоррозионных свойств водосмешиваемой СОТС в течение двухнедельной эксплуатации, в том числе и после проведения трех корректировок этих показателей. Для корректировки качества водосмешиваемых СОТС перспективно использовать присадки, обладающие несколькими функциями. Например, при добавке в товарные эмульсолы или их водные эмульсии моющих средств МДС-4, Биомос-1 улучшаются моющие и антикоррозионные свойства, уменьшается степень биопоражения СОТС; некоторые биоксидные присадки (Укацид-2, Тетрацид, Сульфощид-4 и др.) улучшают антикоррозионные свойства и стабильность СОТС; присадка Эмульта (0,5%) усиливает антикоррозионные свойства и стабильность эмульсий [13, 17, 35].

Помимо перечисленных характеристик при эксплуатации СОТС необходимо поддержание уровня температуры, расхода жидкости

и других показателей, обусловленных характеристикой системы подачи и фильтрации СОТС. Описание и техническая характеристика устройства для термостабилизации СОТС приведены в работах [15, 26]. При отклонении от норм и неэффективности корректировки показателей качества СОТС подлежит сливу.

6. СПОСОБЫ И ТЕХНИКА ПОДАЧИ СОТС В ЗОНУ ОБРАБОТКИ

Обработка лезвийными инструментами. На большинство операций обработки заготовок резанием в качестве СОТС используют СОЖ.

Из семи известных способов подачи СОЖ в зону обработки заготовок лезвийными инструментами (табл. 15) способы 6 и 7 применяют в единичных случаях. Например, на операциях нарезания резьбы метчиками и развертывания неглубоких отверстий осуществляют периодическую (импульсную) подачу дозированного количества СОЖ на инструмент перед началом обработки. На агрегатных станках порцию СОЖ подают на инструмент автоматически, на универсальных станках это делают вручную. На универсальных станках в единичном и мелкосерийном производстве применяют иногда способ контактного смачивания обрабатываемой заготовки кистью или тампоном впереди режущего инструмента (например, на операциях нарезания резьбы плашками). Из остальных пяти способов, области применения которых указаны в табл. 16, наиболее распространена подача СОЖ поливом (под давлением 0,02—0,03 МПа). Эффективность

15. Способы подачи СОЖ при обработке заготовок лезвийными инструментами

Номер способа	Подача СОЖ
1	Свободно падающей струей (поливом)
2	Под давлением через сопловые насадки (напорной струей)
3	В распыленном состоянии (в виде струи воздушно-жидкостной смеси)
4	Через каналы в инструменте с выходом в зону резания под давлением
5	То же, без выхода в зону резания
6	Контактное смачивание
7	Периодическая подача, на инструмент перед резанием (в распыленном состоянии, окунаем, нанесением кисточкой или тампоном, из масленки и др.)

этого способа зависит от расхода СОЖ, подаваемой к зоне резания, размеров, формы и траектории струи. Некоторые часто применяемые конструкции сопел показаны на рис. 8. В зависимости от условий обработки формируют струи круглого (точение, сверление, развертывание и др.) или прямоугольного (фрезерование, зубофрезерование и зубодолбление, точение и др.) сечения. В любом случае струя жидкости должна перекрывать всю зону контакта инструмента с заготовкой (табл. 17).

Подача СОЖ под давлением 0,1—2 МПа через сопловые насадки (см. табл. 15, способ 2) применяется с целью увеличения расхода СОЖ через зону обработки и вымывания из этой зоны

16. Области применения основных способов подачи СОЖ при обработке заготовок лезвийными инструментами

Операция	Способы подачи СОЖ (номер по табл. 15)		
	предпочти- тельные	применяе- мые	редко при- меняемые
Токарная обработка поверхностей: наружных внутренних	1, 2 1	3 3	4, 5 2, 4, 5
Сверлильная: сверление, рассверливание, зенкерова- ние, развертывание глубокое сверление	4 4, 2	1, 3 —	2 —
Резьбонарезание: метчиками и плашками фрезами	4 1	1 3	— —
Фрезерная	1	3	2, 4
Зуборезная	1	3	2
Протяжная	2, 4	1, 3	—

стружки. Разновидностью подачи СОЖ под давлением является так называемый струйно-напорный способ подачи СОЖ: тонкую струю СОЖ направляют в зону контакта режущей кромки инст-

румента с обрабатываемой заготовкой со стороны задней грани лезвия (рис. 9). Условно различают подачу СОЖ высоконапорной струей под давлением не менее 1,5 МПа через сопла с выход-

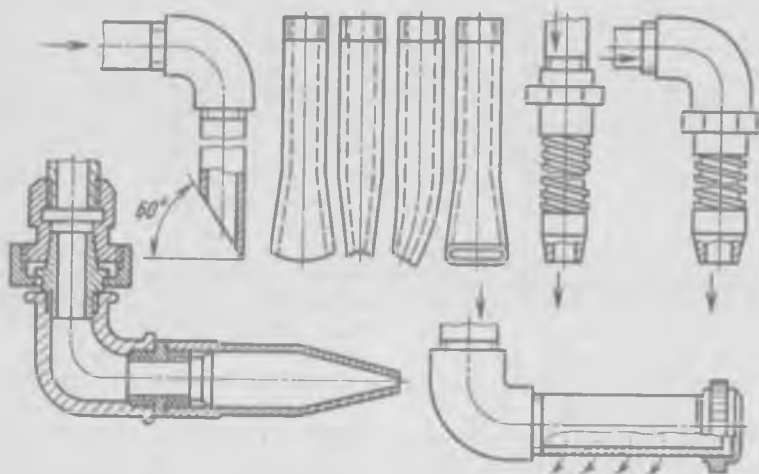


Рис. 8. Сопловые насадки для подачи СОЖ под давлением и напорной струей

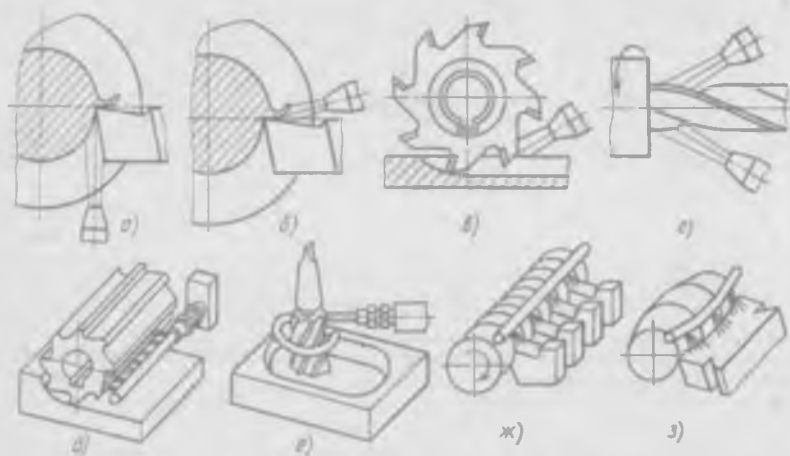


Рис. 10. Схемы установки одноканальных (а—е) и многоканальных (б—з) сопел для подачи расточных СОЖ

ными отверстиями диаметром до 0,8 мм и подачу СОЖ низконапорной струей под давлением 0,05—0,20 МПа через сопла с отверстиями диаметром 2—5 мм. Струю жидкости располагают строго в плоскости резания на расстоянии $1/3$ глубины резания от вершины режущей кромки. Наилучшие показатели обработки обеспечиваются при скорости струи СОЖ 40—60 м/с и толщине погояка жидкости 0,015—0,018 мм. При большой длине омываемой части режущей кромки применяют сопла с щелевидными выходными отверстиями. Расстояние от выходного отверстия сопла до режущей кромки в вертикальном направлении должно быть минимально возможным, но в любом случае не более 80—120 мм. Подачу СОЖ высоконапорной струей комбинируют иногда с подачей СОЖ поливом со стороны стружки и передней грани резца. При этом стойкость режущего инст-

румента повышается на 20—25% по сравнению с применением только напорной струи.

Применяют также подачу водной СОЖ под давлением 70—380 МПа в зону контакта стружки с передней поверхностью лезвия резца (диаметр сопла 0,135—0,35 мм, расход СОЖ 2,25—3,7 л/мин). Высоконапорная подача СОЖ в этом случае обеспечивает повышение производительности обработки до 10 раз и более. К тому же обеспечивается удовлетворительное дробление стружки.

Эффективность подачи СОЖ напорной струей заметно выше эффективности подачи СОЖ поливом, однако техника ее реализации гораздо сложнее и дороже, особенно в случае подачи СОЖ высоконапорной струей (струйно-напорным способом), когда резко возрастают требования к чистоте СОЖ. Затруднения возникают и в связи с необходимостью

18. Рекомендации по применению распыленных СОЖ

Вид обработки	Распыливаемая СОЖ			
	Масло И-20А (И-12А)		1,5%-ная эмульсия	
	Материал заготовки*, обрабатываемой инструментом			
	быстро-режущим	твердо-сплавным	быстро-режущим	твердо-сплавным
Точение (токарные и карусельные станки, станки с ЧПУ)	4	1, 3, 4	1—4, 6	2—6
Фрезерование (фрезерные станки, станки с ЧПУ, многоцелевые станки)	4	3, 4	1—4, 6	1—3, 6
Строгание (строгальные станки)	—	1	1, 2	2
Сверление, зенкерование, развертывание, резбонарезание (агрегатные станки, станки с ЧПУ, многоцелевые станки)	1, 4	1, 3, 4	1, 3, 4 6	3
Вихревое резбонарезание**	—			1
Обработка лезвийными инструментами из сверхтвердых материалов	1,5		—	

* 1—сталь, 2—чугун, 3—коррозионно-стойкие стали и жаропрочные сплавы, 4—алюминиевые сплавы и цветные металлы, 5—алюминий и его сплавы, 6—пластмассы и органическое стекло.

** Эффективен комбинированный способ одновременной подачи в зону резания распыленных масел и эмульсий.

защиты от разбрызгивания жидкости.

В связи с использованием в промышленности станков с ЧПУ возрос интерес к подаче СОЖ в распыленном состоянии (см. табл. 15, способ 3). Для реализации этого способа станки оснащают установками, в которых образуется воздушно-жидкостная смесь, и соплами для формирования и направления в зону резания струи этой смеси (рис. 10). Преимуществом способа является весьма малый расход СОЖ: 400—500 г/ч 1,5%-ной эмульсии или 3—4 г/ч масла И-20А (И-12А). В связи со столь

малым расходом СОЖ отпадает необходимость сбора, очистки и разложения отработавшей СОЖ, что необходимо при подаче ее другими способами. Способ рекомендуется к применению (табл. 18) на операциях, где по тем или иным причинам подача СОЖ другими способами невозможна. По сравнению с обработкой всухую подача распыленных СОЖ обеспечивает повышение стойкости режущего инструмента до 2 раз и более, уменьшение шероховатости обработанной поверхности и существенное снижение температурных деформаций заготовок.

19. Условия подачи СОЖ под давлением

Вид обработки	Ввод в зону резания	Давление, МПа	Расход, л/мин
Сверление	По каналам в сверле	0,2—0,5	10—20
Глубокое сверление	По каналам в сверле или по зазору между сверлом и заготовкой	До 10,0	До 200
Сверление кольцевыми сверлами	По зазору между сверлом и заготовкой	0,8—5,0	20—1200
Развертывание	По каналам в инструменте	0,2—0,5	10—15
Зенкерование		0,2—0,5	10—20
Резьбонарезание метчиками		0,2—0,3	5—10
Протягивание	По каналам в инструменте и (или) в заготовке	0,3—1,0	10—50

Подача СОЖ через каналы в инструменте с выходом в зону резания под давлением (см. табл. 15, способ 4) получила широкое применение при обработке отверстий сверлами, зенкерами, развертками, протяжками и при нарезании резьбы метчиками (табл. 19). Применение этого способа обеспечивает не только возможность транспортирования СОЖ в зону резания, но и удаление из этой зоны стружки.

Подача СОЖ через каналы в инструменте без выхода в зону резания (см. табл. 15, способ 5) применяется пока в отдельных случаях на операциях точения (см. табл. 16). Через тело резца циркулирует СОЖ, выполняющая только одну функцию — охлаждение контактных площадок инструмента. С целью усиления охлаждающего действия температуру циркулирующей в системе жидкости понижают, используя в качестве СОЖ, например, охлажденный до -20°C рассол CaCl_2 . Резцы с внутренним охлаждением

применяют иногда на операциях точения чугунных заготовок, когда подача СОЖ поливом приводит к сильному загрязнению рабочего места.

Твердые смазочные материалы используют в тех случаях, когда применение СОЖ затруднено или недопустимо: например, при работе на станках, не оснащенных системой циркуляции СОЖ, при обработке мелких отверстий, изделий из пластмасс и керамики и др. В качестве твердых смазочных материалов используют слоистые твердые смазочные материалы (дисульфид молибдена, графит и др.), органические соединения (мыла, воски, твердые жиры), мягкие металлы (индий, свинец, олово и др.), полимерные пленки. Их применяют для нанесения поверхностных покрытий, в виде паст, сухого порошка, карандашей и брикетов. Как правило, твердые смазочные материалы наносят на рабочие поверхности режущего инструмента перед резанием, иногда непрерывно

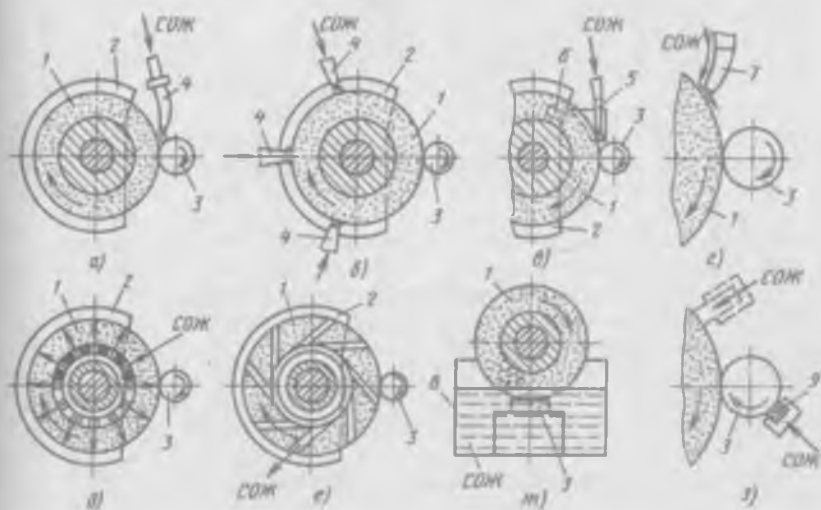


Рис. 11. Схемы основных способов подачи СОЖ при шлифовании:

1—шлифовальный круг; 2—кожух; 3—шлифуемая заготовка; 4—сопло; 5—насадок; 6—торцовый насадок; 7—волновод; 8—резервуар; 9—пористый элемент

или периодически возобновляют смазочную пленку на этих поверхностях.

На отдельных технологических операциях для охлаждения режущего инструмента и обрабатываемой заготовки, а также удаления стружки в зону резания подают сжатый воздух. Для усиления охлаждающего действия его предварительно охлаждают. С целью повышения стойкости режущего инструмента в отдельных случаях в зону резания подают углекислый газ, азот или кислород.

Обработка абразивными инструментами. Специфика применения СОТС при абразивной обработке заготовок связана с особенностями строения абразивных инструментов, кинематическими и режимными факторами. Особые трудности возникают на операциях шлифования, выполняемых на

скоростях 35—80 м/с и более: вращающиеся с большими угловыми скоростями шлифовальные круги создают мощные окружные и торцовые воздушные потоки, препятствующие доступу СОТС в зону обработки. На операциях хонингования, суперфиниширования, доводки, где скорости рабочих движений абразивных инструментов и обрабатываемых заготовок в 10—1000 раз меньше, чем при шлифовании, скорости и мощности воздушных потоков невелики, поэтому отпадают и связанные с ними затруднения для рационального применения СОТС.

Основные способы подачи СОЖ и некоторые из них возможные комбинации с оценкой эффективности приведены в табл. 20, а соответствующие принципиальные схемы на рис. 11.

20. Способы подачи СОЖ при шлифовании и их эффективность

Номер способа	Способ подачи СОЖ	Число одновременно подаваемых СОЖ	Действие СОЖ				
			смазочное	охлаждающее	кругу	заготовки	станку
Основные способы							
1	Подлив	1	Н	У	Н	Х	Х
2	Напорный струей	1	У	Х	В	Х	Х
3	В расплавленном состоянии	1	Н	УН	Н	Н	Х
4	Струйно-напорный внезонный	1	Н	В	Х/В	В	Х
5	Гидроэрозионно-механический	1	Х	У	Х	У	У
6	С ультразвуковыми колебаниями	1	Х	У	У	У	У
7	Через щель круга	1	В/Х	УН	УН	УН	У
8	Через капилляр в круге	1	В/Х	Х	У	У	У
9	В среде СОЖ	1	В	У	У	У	У
10	Контактный	1	В/Х	Н	Н	Н	Н
11	Подливный	1*	С/В**	СН	С/Н	С/Н	С/Н
Комбинированные способы							
12	№ 1 (№ 2) + № 7 (№ 8)	2, 1	0	У	У	Х	Х
13	№ 1 (№ 2) + № 4	1	Х	В	В	В	В
14	№ 1 + № 6	1	Х	У	У	Х	Х
15	№ 1 (№ 2) + № 10	2	О/Х	У	О	Х	Х
16	№ 4 + № 10	2	О	У	В	Х/В	Х
17	№ 1 (№ 2) + № 5 и др.	1	Х	В	Ш/Х	В	В

* Дополнительно используются для СОЖ.

** В числителе — на начальном этапе цикла шлифования, в зависимости от способа подачи СОЖ с принятых значений Н, У, Х, В, в знаменителе — при выключении или на другом завершающем этапе.

Примечание. Обозначение эффективности действия СОЖ: Н — низкая, У — удовлетворительная, Х — хорошая, В — высокая, О — очень высокая.

Подача СОЖ поливом (рис. 11, а, способ 1, см. также рис. 8) наиболее широко применяется на универсальных круглошлифовальных станках, что объясняется лишь простотой ее реализации. В настоящее время можно считать оправданным способ подачи СОЖ поливом только в единичном и мелкосерийном производстве. При круглом наружном, внутреннем и плоском шлифовании периферией круга расход СОЖ должен быть не менее 8—10 л/мин на каждые 10 мм длины контакта круга с заготовкой, при бесцентровом шлифовании—3—6 л/мин, при плоском шлифовании торцом круга—10—15 л/мин на каждые 10 мм ширины сегмента или кольца. Здесь и далее нормы расхода СОЖ даны для шлифования с окружной скоростью круга $v_k' = 35$ м/с. С увеличением v_k расход СОЖ следует увеличивать примерно прямо пропорционально отношению v_k'' и v_k' ($v_k'' > v_k'$).

Принципиальная схема подачи СОЖ напорной струей (рис. 11, а, способ 2) аналогична схеме подачи СОЖ поливом; давление жидкости повышают до 1,0—1,5 МПа и более. Рост давления приводит к увеличению скорости потока СОЖ, что интенсифицирует отвод теплоты от шлифуемой заготовки, способствует проникновению жидкости в зону шлифования. Ввиду повышенного разбрызгивания жидкости применение способа возможно только при надежной герметизации рабочей зоны станка.

Подачу СОЖ в распыленном состоянии (рис. 11, а, способ 3) применяют при абразивной обработке главным образом на операциях заточки режущего инст-

румента, шлифования крупногабаритных заготовок, а также на операциях, выполнявшихся ранее всухую.

Струйно-напорный внезонный способ подачи СОЖ (рис. 11, б, способ 4) наиболее эффективен из всех основных способов (см. табл. 20). СОЖ под давлением 3—10 МПа и более подают на рабочую поверхность шлифовального круга вне зоны резания через одно или несколько сопл. Неподвижные многоканальные сопла применяют при высоте шлифовального круга не более 50 мм. Для кругов большей высоты применяют подвижные сопла с одним или несколькими выходными отверстиями. В этом случае охлаждение заготовки осуществляют дополнительно через обычное сопло поливом.

При подаче СОЖ гидроаэродинамическим способом (рис. 11, в, способ 5) энергия воздушных потоков, создаваемых вращающимся кругом, используется для повышения скорости движения жидкостного потока относительно рабочей поверхности круга и шлифуемой заготовки. С помощью специальных устройств активированный поток СОЖ направляется на рабочую поверхность круга и в зону контакта круга с заготовкой. Расход СОЖ—5—8 л/мин на 10 мм длины контакта. В последнее время появилось много разновидностей гидроаэродинамического способа. Весьма эффективной во многих случаях оказывается подача СОЖ через торцовые насадки (см. рис. 11, в).

По способу 6 СОЖ подается в зазор между торцом волновода и рабочей поверхностью шлифовального круга и образует промежуточную среду для передачи

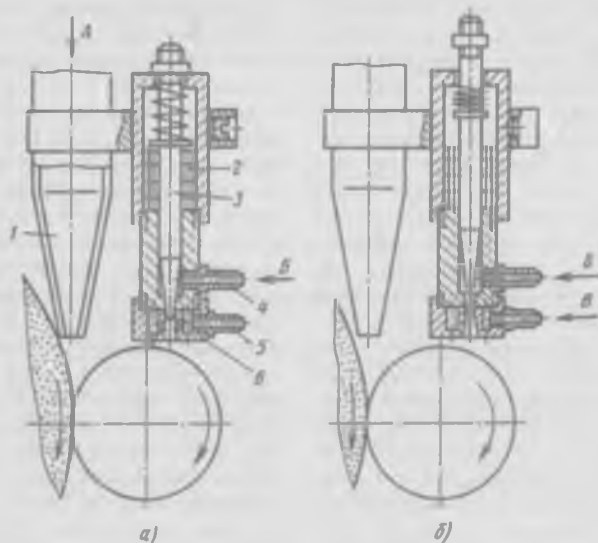


Рис. 12. Устройство для подачи СОЖ поэтапным способом:

А—водная СОЖ; Б—масляная СОЖ; В—воздух; 1—сопло клиновое; 2—электромагнитная катушка; 3—игла; 4, 5—штуцера; 6—насадок

ультразвуковых волн от волновода (рис. 11, з) к поверхности круга. Существенные трудности возникают в связи с необходимостью выдерживать в жестких пределах зазор между торцом волновода и поверхностью круга.

Сущность подачи СОЖ *через поры круга* (рис. 11, д, способ 7) и *через каналы в круге* (рис. 11, е, способ 8) одинакова: СОЖ подводится во внутреннюю полость абразивного круга и при его вращении под действием центробежной силы и давления $\sim 0,05$ — $0,15$ МПа проходит через поры или каналы на рабочую поверхность круга. При шлифовании заготовок из закаленных углеродистых сталей расход масла через поры круга должен быть примерно 3 — 5 г/мин на каждые 10 мм длины рабочей поверхности шли-

фовального круга. Через каналы в круге подают водные СОЖ с расходом ~ 2 — 4 л/мин на 10 мм длины контакта.

Шлифование *в среде СОЖ* (рис. 11, ж, способ 9) применяется пока сравнительно редко, главным образом при ленточном и плоском шлифовании и разрезании (отрезании) небольших заготовок.

Контактный способ (рис. 11, з, способ 11) используют лишь в сочетании с подачей водной СОЖ способами 1, 2, 4 (см. табл. 20). Тончайший слой смазки непрерывно наносится на обрабатываемую поверхность заготовки путем поджима к ней мягкого пористого материала, пропитываемого смазкой (расход 15 — 30 г/ч).

Поэтапный способ (способ 11) в принципе отличается от всех

других способов подачи СОЖ, обеспечивая возможность полностью реализовать на одной операции шлифования технологический потенциал двух различных по составу СОЖ: на первых этапах цикла шлифования, когда снимается большая часть припуска и велико теплообразование, в зону обработки поливом подают водную СОЖ. На завершающем этапе шлифования, когда съем металла невелик и формируются показатели качества шлифованной детали, подачу водной СОЖ прекращают, а на шлифуемую поверхность заготовки наносят тончайший слой масляной СОЖ (с расходом ~5—20 г/ч на 10 мм длины шлифуемой поверхности).

Поэтапный способ обеспечивает такую же эффективность шлифования, как подача масла поливом в течение всего цикла шлифования; при этом расход масляной СОЖ ничтожен, что снимает препятствия санитарно-гигиенического и экономического плана, возникающие в случаях шлифования с подачей масляных СОЖ поливом. На рис. 12, а положение соответствует начальным этапам цикла шлифования, когда через сопло 1 подают водную СОЖ-А; выход для масляной СОЖ-Б перекрыт иглой 3. На рис. 12, б положение соответствует завершающему этапу цикла (чаще всего выхаживанию); через насадок 6 подается распыленная масляная СОЖ-Б.

21. Области применения способов подачи СОЖ при шлифовании крутями из электрокорундов и карбида кремния

Материал заготовки	Разновидности шлифования				
	Круглое, наружное, плоское периферией круга, бесцентровое	Внутреннее, плоское торцом круга	Резьбо-зубошлифование	Отрезание, разрезание	Ленточное
Конструкционные углеродистые стали	1, 5, 4, 17, 13, 2, (11)	1, 2, 4, 13, 12, (11)	13, 2, 5, 17, 4, 12, (11)	2, 1, 9, 13	9, 1, 3
Легированные и высоколегированные стали	5, 1, 9, 4, 13, 2, 12, 15, 14, (11)	13, 2, 12, 1, 4, (11)	13, 2, 4, 5, 17, 1, 12, (11)	2, 13, 1, 9, 17, 4	9, 1, 3
Титан и сплавы на его основе	13, 2, 17, 15, 14, 1, 4, 5, 12, (11)	2, 13, 4, 1, 12, (11)	13, 2, 14, 1, (11)	2, 13, 1, 9, 17	9, 1
Медь, алюминий и сплавы на их основе	5, 17, 13, 14, 15, 1, 2, 4	13, 2, 4, 1	13, 2, 14, 1	13, 2, 17, 9, 1	9, 1
Чугуны	1, 5, 17, 13, 2, 4, 3	13, 1, 2	13, 2, 1	2, 13, 1, 9, 17	9, 1, 3
Стекло, керамика, пластмассы	2, 1, 17, 13, 4, 5, 9	2, 1, 13, 9	9, 2, 1, 13	2, 13, 9, 17, 1	—

Примечания: 1. В таблице приведены номера способов (см. табл. 20). Способы подачи СОЖ указаны в порядке убывающей предпочтительности.

2. Поэтапный способ (11) рекомендуется для операций, завершающим этапом которых является выхаживание или тонкое шлифование.

22. Области применения способов подачи СОЖ при алмазно-элюборном шлифовании

Материал заготовки	Разновидности шлифования			
	Круглое, наружное, внутреннее, плоское периферий круга	Плоское торцом круга	Фасонное (глубинное), резьбошлифование	Отрезание, разрезание
Легированные и высоколегированные стали	13, 2, 15, 14, 1, (11)	13, 2, 1	2, 13, 9, 1, (11)	2, 13, 1, 9
Чугуны	1, 13, 2, 3	13, 1, 2	2, 13, 9, 1	2, 13, 1
Твердые сплавы	1, 2, 13, 3	1, 2, 13, 3	2, 13, 9, 1, 3	13, 2, 1, 3
Стекло, керамика, пластмассы	2, 1, 13, 9	2, 1, 13, 9	—	2, 9, 1, 13

Примечание. См. примечания к табл. 21.

23. Наименее полное оборудование для подачи СОЖ

Изделие	Модель	Подача номинальная, л/мин	Давление на выходе из насоса, номинальное, МПа	Завод-изготовитель	Модель изделия, рекомендуемого взамен снимаемого с производства
Электронасос (ТУ-2-053-1795—86)	БХ14-53	50	0,25	ГЗГ	—
	БХ14-53-1	50	0,25	ГЗГ	
	БХ14-54	100	0,25	ГЗГ	
	БХ14-55	100	0,25	ГЗГ	
Агрегат электронасосный (ТУ 2-024-2994—83)	Х-14-22М	22	0,03	СЗЭ	П-32МС П-50МС П-125МС П-200МС
	ПА-45	45	0,02	СЗЭ	
	П-90	90	0,04	СЗЭ	
	П-180	180	0,04	СЗЭ	
Электронасос (ТУ 2-053-1695—84)	П-25М	25	0,04	ГЗГ	—
	П-50М	50	0,04	СЗЭ, ГЗГ	
	П-100М	100	0,063	СЗЭ, ГЗГ	
	П-200М	200	0,063	СЗЭ, ГЗГ	
Электронасос (ТУ 2-024-0224533-021—89)	П-32МС	32	0,04	СЗЭ	—
	П-50МС	50	0,04	СЗЭ	
	П-125МС	125	0,063	СЗЭ	
	П-200МС	200	0,08	СЗЭ	

Примечание. ГЗГ — Грязинский завод гидрооборудования; СЗЭ — Скопинский завод электронасосов.

24. Габаритные и присоединительные размеры электронасосов типа БХ

Модель	Размер, мм					D
	H, не более	H ₁	H ₂ , не более	H ₃ , не более	L	
БХ14-53	558	250	193	231	30	G 1 ¹ / ₄ —A
БХ14-53-1	410	110			26	G 1—A
БХ14-54	578	250			30	G 1 ¹ / ₄ —A
БХ14-55	648	290				

В случае большой напряженности процесса шлифования и высоких требований к качеству обработанных деталей применяют *комбинированные способы* (см. табл. 20). Области применения способов подачи СОЖ при шлифовании в зависимости от материала заготовки приведены в табл. 21 и 22.

При скоростном и скоростном силовом шлифовании используют способы 2, 4, 5, комбинированные способы, особенно 13, 17, а также способ 11.

Экономическая эффективность операций обработки заготовок резанием непосредственно зависит от правильности выбора способа и техники подачи СОТС в зону обработки. Традиционен опытно-статистический метод выбора способа и техники подачи СОТС (см., например, табл. 16, 21, 22), основанный на опыте промышленности и результатах испытаний различных устройств для подачи СОЖ. В отдельных случаях используют относительно более трудоемкий экономический метод, заключающийся в определении целевой функции минимума технологической себестоимости опе-

рации (по вариантам). Предложен приоритетный метод выбора техники подачи СОЖ, базирующийся на расчете приоритетов различных способов и реализующих их устройств подачи СОЖ [33]. Разработана методика выбора оптимального приоритета с помощью ЭВМ.

Из всех элементов техники подачи СОЖ отечественные специализированные заводы выпускают серийно лишь *электронасосы* (табл. 23)*. При этом известные электронасосные агрегаты Х-14-22М, ПА-45, П-90, П-180 [8] устарели по своему техническому уровню и подлежат снятию с производства. Эти насосы работают на СОЖ вязкостью не более 10 мм²/с, тогда как все остальные модели предназначены для подачи водных и масляных СОЖ вязкостью до 90 мм²/с. Допустимая концентрация механических примесей в СОЖ для насосов типа БХ 14—15 г/л, а для остальных—5 г/л. Целевое назначение насосов БХ14-5 (рис. 13,

* Здесь и далее информация о выпускаемой заводами технике для применения СОЖ дана по состоянию на 1991 год.

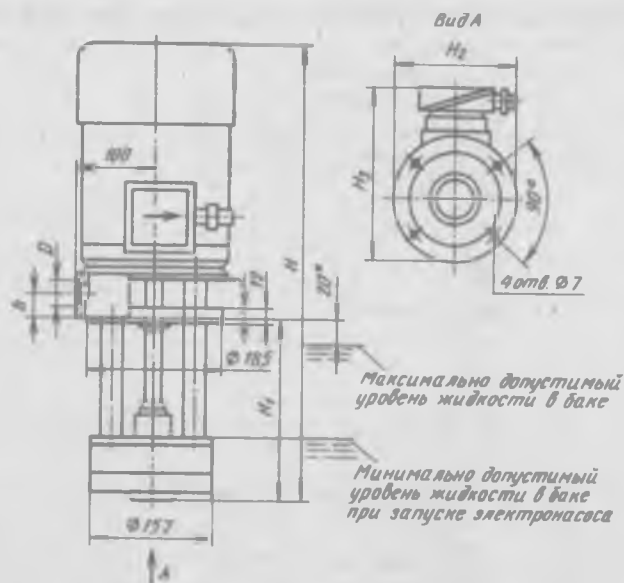


Рис. 13. Электронасосы БХ14-5

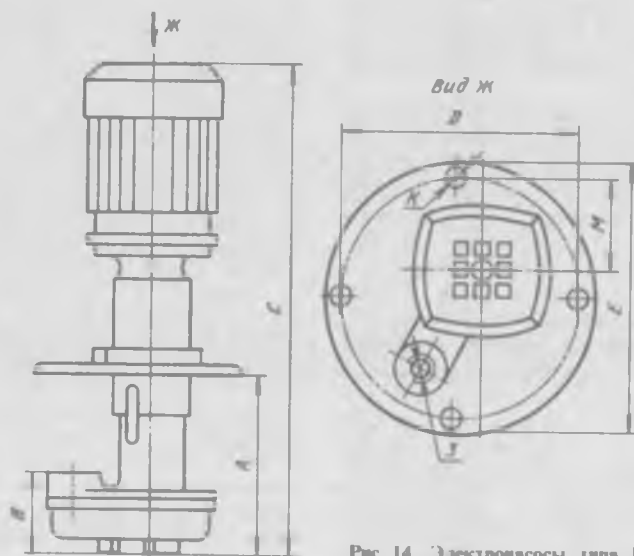


Рис. 14. Электронасосы типа П-...М

25. Габаритные и присоединительные размеры электронасосов П-...М

Модель	Размер, мм							
	A	B	C	D	3 труб. ГОСТ 6357—81	K	M	E
П-25М	80—200	62	418	Ø 160	G 1/2—A	Ø 9 4 отв.	92	Ø 180
П-50			420		G 3/4—A		96	
П-100М	100—250	70	587	Ø 230	G 1—A	Ø 9 4 отв.	130	Ø 255
П-200М					G 1 1/4—A			

табл. 24) — подача СОЖ в зону обработки, обмывание посадочных поверхностей режущего и вспомогательного инструмента и технологических баз заготовок, обрабатываемых на металлорежущих станках, работающих в ГПС, а также гидротранспортирование стружки.

Электронасосы высшей категории качества типа П-...М показаны на рис. 14, а их размеры даны в табл. 25.

Для нагнетания СОЖ используют также центробежные, шестеренные, пластинчатые и другие насосы и насосные установки различного технического назначения.

7. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ, ГРУППОВЫЕ И ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ СОЖ

Технологический процесс применения водных СОЖ в машиностроении более сложен, чем процесс применения масляной жидкости, поступающей на предприятие в готовом для использования

виде. Типовой технологический процесс применения водосмешиваемой СОЖ (рис. 15) начинается с операции ее приготовления, после чего следует сбор приготовленной СОЖ в баках и ее бактериологическая обработка. Затем жидкость транспортируется к станкам (операция 4) и, проходя через специальные устройства, подвергается энергетической обработке для повышения эксплуатационной и технологической эффективности. В процессе обработки заготовок жидкость загрязняется механическими и иными примесями. На операции 8 осуществляется подготовка СОЖ к очистке, например ее электромагнитная обработка с целью коагуляции частиц загрязнений и повышения тем самым вероятности их последующего удаления на операции 9. Если обработка заготовок выполняется абразивными инструментами, то затем следуют специфические операции обезживания и переработки шлама. После очистки диагностируется состояние СОЖ (операция 12). Результаты диа-

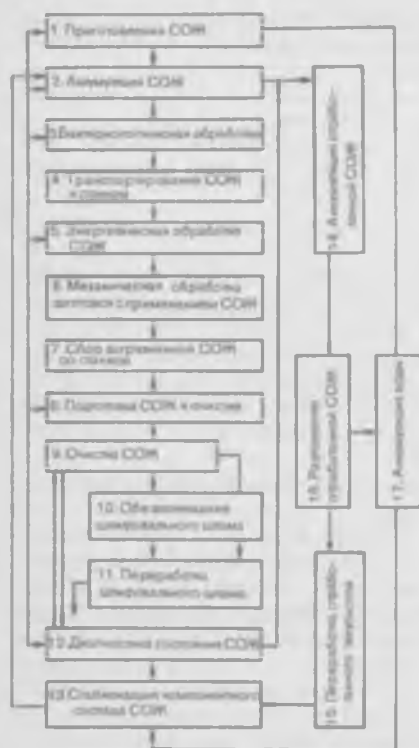


Рис. 15. Структурная схема технологического процесса применения СОЖ

гностики определяют режимы работы оборудования на операциях очистки, стабилизации компонентного состава СОЖ (операция 13), бактериологической и энергетической обработки. После очистки и стабилизации компонентного состава СОЖ аккумулируется в баках, откуда насосами подается к станкам. При выходе критериев оценки состояния СОЖ за допустимые пределы с операции диагностирования подается команда на разложение отработанной (операция 16) и приготовление новой СОЖ

(операция 1). В результате разложения эмульсионной СОЖ получают воду, которую используют для приготовления СОЖ. Выделенный при разложении отработанный эмульсол поступает на переработку (операция 15) и после регенерации может быть, в частности, использован для приготовления и стабилизации ее компонентного состава.

Таким образом, по представленной на рис. 15 схеме строится замкнутый цикл безотходной технологии применения СОЖ. Максимальный эффект от применения СОЖ на операциях металлообработки может быть обеспечен лишь при оптимальном функционировании всех операций технологического процесса применения СОЖ. Реализация такого процесса путем создания соответствующей системы применения СОЖ представляет собой весьма сложную техническую задачу и оправдана, как правило, при выполнении ряда условий: повышение производительности металлорежущего оборудования на 10—15%; снижение потерь от брака, вызываемого невыполнением технических требований к СОЖ, в 8—10 раз; ликвидация выброса в окружающую среду вредных веществ, отходов обработки и аэрозолей; исключение ручного труда при обслуживании системы и др. Если перечисленные условия, определяющие целесообразность создания высокоэффективной безотходной централизованной или групповой системы применения СОЖ, не удовлетворяются, то систему упрощают, исключая отдельные операции (см. рис. 15), а в простейшем случае ограничиваются индивидуальными системами (индивиду-

альные системы обслуживают отдельные станки, групповые — группу станков, централизованные — парк станков всего цеха или корпуса). В любом случае непременными элементами системы применения СОЖ являются устройства для подачи СОЖ в зону обработки (см. выше) и очистки ее от механических примесей.

Очистка СОЖ от механических примесей обеспечивает улучшение качества обработанных поверхностей деталей, повышение стойкости режущих инструментов, возможность повышения производительности обработки заготовок резанием, способствует стабилизации свойств СОЖ и продлению срока ее использования, а тем самым сокращению расходов на эксплуатацию СОЖ. Очиститель выбирают с помощью технологических регламентов чистоты СОЖ, которые устанавливают связь между заданными параметрами качества обработанной резанием поверхности детали (высотными и шаговыми параметрами шероховатости, точностью геометрической формы, свойствами по-

верхностного слоя) и параметрами качества очистки СОЖ — тонкостью (минимальный размер частиц, полностью задерживаемых очистителем) и степенью очистки (процент твердых примесей, задерживаемых очистителем). При этом, естественно, учитывается и производительность очистителя. На рис. 16 дана классификация современных очистителей СОЖ, цифрами отмечены очистители, для которых в табл. 26 приведены значения обеспечиваемой ими тонкости очистки. При необходимости, особенно в групповых и централизованных системах применения СОЖ, используют комбинации из нескольких очистителей.

Отечественные специализированные заводы выпускают серийно весьма ограниченную номенклатуру очистителей СОЖ, состоящую всего из семи позиций.

Фильтры целевые (пластинчатые) с ручной очисткой на давление до 6,3 МПа [изготовитель — Николаевское производственное объединение по выпуску смазочного оборудования (НПОСО)]

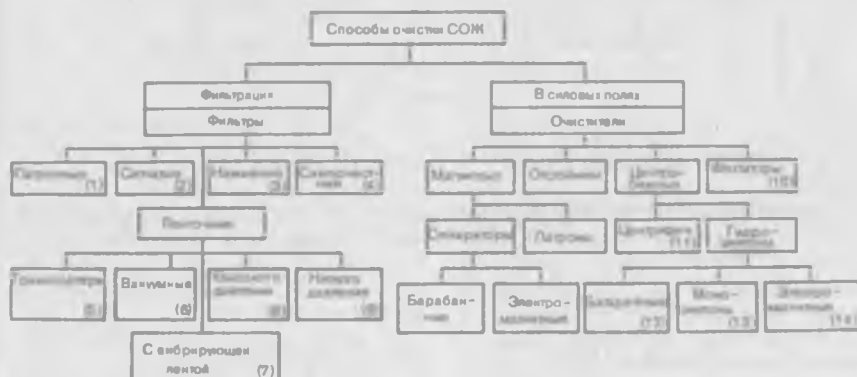


Рис. 16. Очистители, применяемые для очистки СОЖ

26. Тонкость очистки СОЖ

Номер очистителя (см. рис. 16)	Тонкость очистки, мкм	Номер очистителя (см. рис. 16)	Тонкость очистки, мкм
1	0,1—10	8	10—40
2	40—500	9	10—40
3	2—5	10	5—10
4	5	11	0,5—2
5	25	12	3—10
6	10—15	13	5—15
7	25		

предназначены для предварительной фильтрации минеральных масел вязкостью 7—600 мм²/с в смазочных системах, а также очистки масляных СОЖ. Фильтры выпускают в двух исполнениях: в корпусе с резьбовым присоединением, монтируемые на трубопроводе (рис. 17, а, табл. 27); встраиваемые, монтируемые на какой-либо корпусной детали или баке (рис. 17, б, табл. 27). Фильтры исполнения I обеспечивают тонкость очистки 80 мкм и номинальный расход СОЖ 10—40 л/мин, а фильтры исполнения II — тонкость очистки

125 мкм и расход 16—63 л/мин (в каждом исполнении четыре типоразмера).

Фильтры-транспортёры Х44-3 (изготовитель — НПОСО) предназначены для очистки от механических примесей водных СОЖ вязкостью 1—1,5 мм²/с. Перед пуском фильтра-транспортёра (рис. 18) свободный конец фильтровальной бумаги с рулона 5 растапливают на транспортной ленте 9 так, чтобы на ней могло удерживаться некоторое количество жидкости. Загрязненная СОЖ со станка поступает в приемник 8,

27. Размеры щелевых фильтров, ГОСТ 21329—75* Е (см. рис. 17)

Типо- размер	Исполнение I					Исполнение II					
	Размер, мм										
	<i>d</i>	<i>B</i> , не более	<i>B</i> ₁ , не более	<i>L</i>	<i>L</i> ₁	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>d</i>	<i>l</i>	<i>L</i> ₂	<i>L</i> ₃
1	K 3/8"	85	90	170±2	110±2	64±0,2	55 H8/h8	11	19	140±2	65
2	K 1/2"			190±2	130±2					160±2	85
3		110	115	230±2	170±2	84±0,2	85 H8/h8	13	22	185±2	105
4				K 3/4"	265±2					205±2	225±2

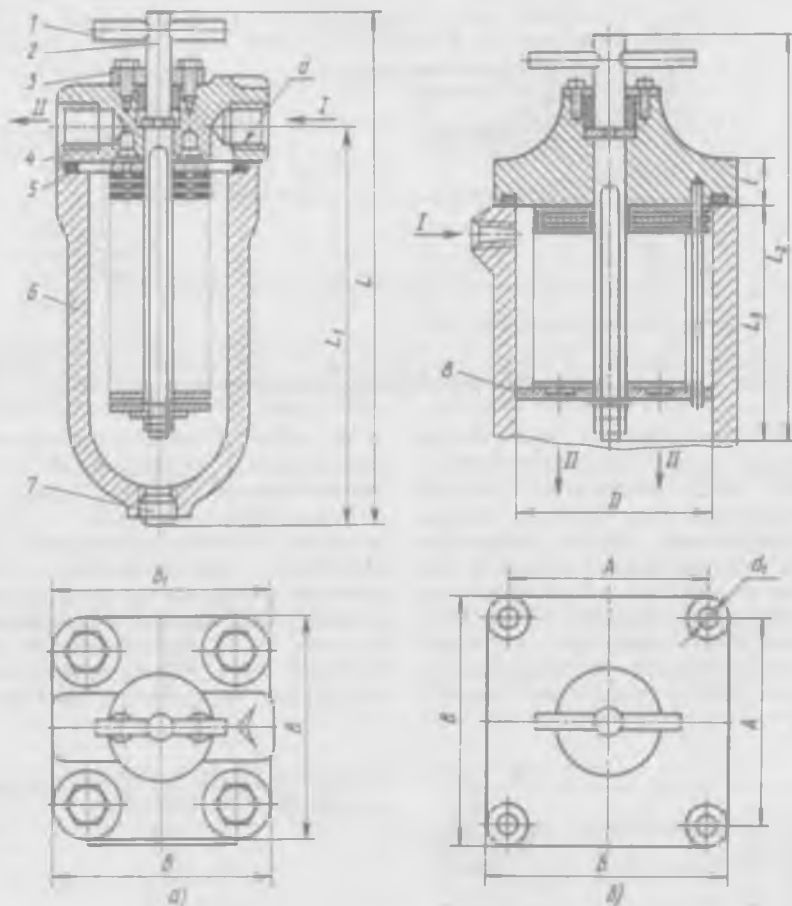


Рис. 17. Фильтр шклевой:

a —исполнение 1; b —исполнение 2; I —вход СОЖ; II —выход СОЖ; 1 —рукоятка; 2 —ось; 3 —фланец; 4 —крышка; 5 —кольцо; 6 —стакан; 7 —пробка; 8 —шайба

из которого стекает на рабочий участок бумаги. По мере того как бумага покрывается шламом, пропускная способность фильтра снижается, уровень жидкости под поплавком, закрепленным на рычаге 7, повышается и поплавок поднимается. При достижении определенной высоты подъема

поплавок включает мотор-редуктор 6, и транспортерная лента 9 вместе с загрязненной бумагой перемещается. Движение ленты продолжается до тех пор, пока уровень жидкости не понизится до прежней отметки, а поплавок и рычаг 7 не опустятся в исходное положение; мотор-редуктор оста-

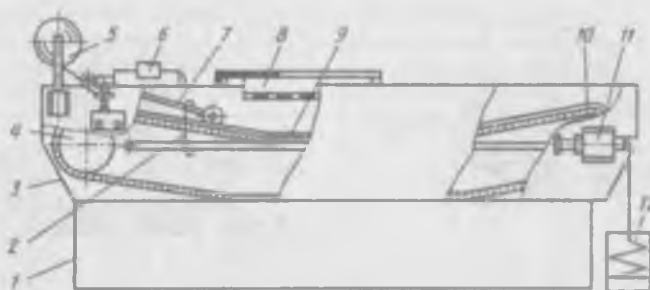


Рис. 18. Схема фильтра-транспортера Х44-3:

1—бак; 2—скоба; 3—корпус; 4—вал ведущий; 5—рулон бумаги; 6—мотор-редуктор; 7—рычаг; 8—приемник; 9—лента транспортная; 10—вал ведомый; 11—устройство натяжное; 12—емкость для загрязненной фильтровальной бумаги

новится, прекращая тем самым подачу фильтровальной бумаги. Этот цикл повторяется автоматически по мере работы станка и загрязнения бумаги. Загрязненный участок фильтровальной бумаги с осевшим на ней шламом спускается в емкость 12, а после окончания смены его отрезают и выбрасывают. Размеры фильтров Х44-3 даны на рис. 19

и в табл. 28; все типоразмеры обеспечивают одинаковую тонкость очистки СОЖ—25 мкм.

Сепараторы магнитные очистительные ФММ (изготовитель—НПОСО) предназначены для очистки минеральных масел и масляных СОЖ кинематической вязкостью 1—75 мм²/с (рис. 20, 21, табл. 29, 30). Сепаратор типа ФММ состоит из корпуса 1 (см.

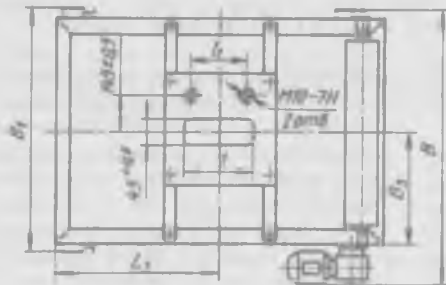
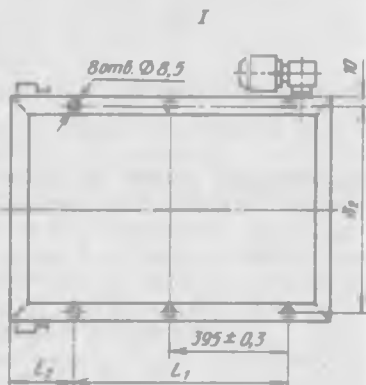


Рис. 19. Габаритные и присоединительные размеры фильтров-транспортеров



28. Основные габаритные и присоединительные размеры фильтров-транспортёров Х44, ТУ 2-053-1852—87 (см. рис. 19)

Типоразмер	Расход СОЖ номинальный, л/мин	Размер, мм				
		L , не более	L_3	B , не более	B_1 , не более	$\frac{IT14}{2}$
Х44-31	25	800	$400 \pm 0,7$	580	440	182,5
Х44-32	50	800	400 ± 7	710	560	247,5
Х44-33	100	1350	675 ± 1	870	730	327,5
Х44-34	200	1350	675 ± 1	1155	1030	470

29. Габаритные и присоединительные размеры фильтров ФММ21—ФММ25, ТУ 2-053-1838—87 (см. рис. 20)

Типоразмер	Расход СОЖ номинальный, л/мин	Размер, мм, не более							
		A	B	D	H	H_1	L	S	d (2 отв.)
ФММ21	8	50	72	60	170	127	85	30	M20 × 1,5—6H
ФММ22	12,5	60	72	60	190	133	95	36	M24 × 1,5—6H
ФММ23	25	70	100	80	220	160	120	46	M33 × 2—6H
ФММ24	50	90	125	100	220	173	155	55	M42 × 2—6H
ФММ25	100	110	150	130	285	220	185	75	M60 × 2—6H

30. Габаритные и присоединительные размеры фильтров ФММ26 и ФММ27 (см. рис. 21)

Типоразмер	Размер, мм, не более											
	B	D	D_1	D_3	L	H	h	h_1	$\frac{dH14}{2}$ (2 отв.)	D_2	H_1	d_1 (8 отв.)
ФММ26	200	170	160	110	205	330	80	15	70	$130 \pm 0,3$	$136 \pm 0,5$	M12—6H
ФММ27	290	260	205	148	305	380	115	23	100	$170 \pm 0,3$	148 ± 1	M16—6H

рис. 20), крышки 2, пружины 3 и фильтрующего пакета, включающего набор магнитов 4 и шайб 5, обечайку 6, крышку 7 и пружины 8, зажатые между упором 9 и стаканом 10; обес-

печиваемая степень очистки—73—88%; номинальное давление 1,6 МПа.

Магнитные сепараторы Х43-4 (рис. 22, табл. 31; изготовитель—НПОСО) предназначены для

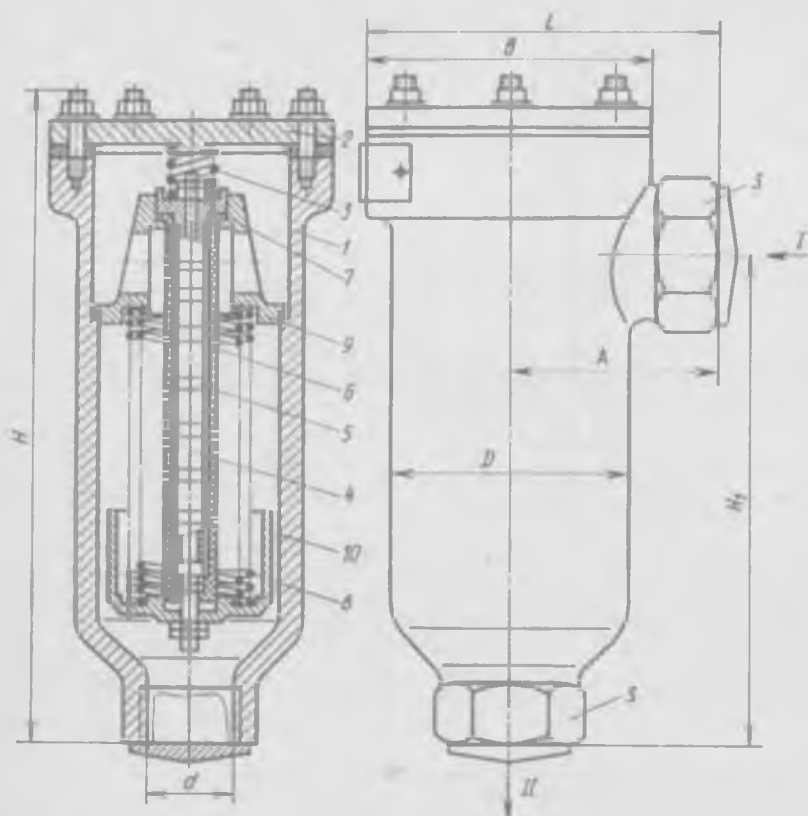


Рис. 20. Магнитные очистительные сепараторы ФММ22 — ФММ25:
I — вход СОЖ; II — выход СОЖ

31. Габаритные и присоединительные размеры сепараторов
Х43-4, ТУ 2-053-1601—82

Типоразмер	Расход эмуль- сии но- миналь- ный, л/мин	См. рис. 22	Размер, мм			Число отвер- стий Ø50	Число отвер- стий G2—A
			L	l	l ₁		
X43-43-1	50	a	340	155	125 ± 0,5	1	—
X43-44-1	100	b	480	290	250 ± 0,5	2	—
X43-45-1	200	в	730	545	515 ± 0,5	4	—
X43-43-1-1	50	г	340	155	125 ± 0,5	—	1
X43-44-1-1	100	д	480	290	250 ± 0,5	—	2

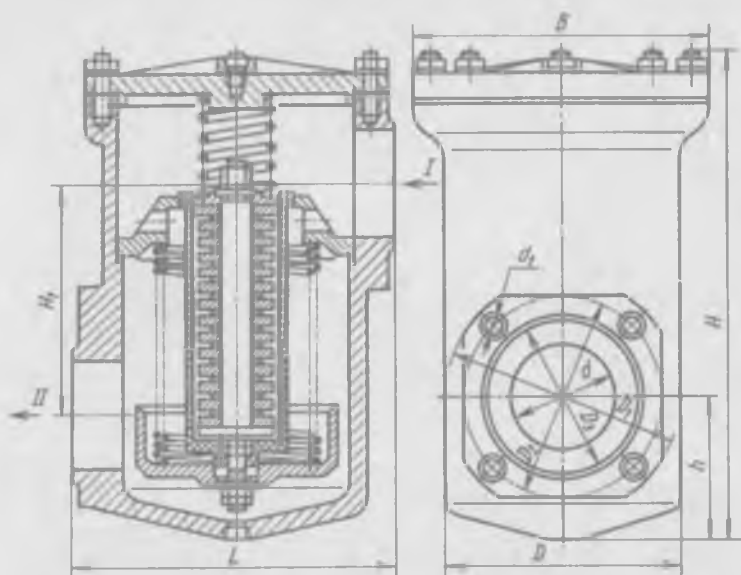


Рис. 21. Магнитные очистительные сепараторы ФММ26, ФММ27:
I—вход СОЖ; II—выход СОЖ

очистки водомасляных эмульсий ($1 \text{ мм}^2/\text{с}$). Допускается очистка масляных и других жидкостей вязкостью до $75 \text{ мм}^2/\text{с}$, однако с увеличением вязкости расход жидкости резко уменьшается. Сепараторы изготавливают с левым и правым (см. рис. 22, вид по стрелке Т) расположением привода. Они сепарируют ферромаг-

нитные частицы (в смеси с немагнитными при соотношении масс, равном 15) объемом до 3 мм^3 , степень очистки при исходной загрязненности эмульсии 0,5% составляет до 98%.

Магнитные сепараторы модульной конструкции Х43-45М, Х43-46, Х43-47 (рис. 23, табл. 32, изготовитель—НПОСО) имеют то же

32. Габаритные и присоединительные размеры сепараторов
Х43-45М, Х43-46, Х43-47, ТУ 2-053-1814—86

Типоразмер	L , мм	L_1 , мм	См. рис. 25	n
Х43-45М-2	790	626	<i>a</i>	4
Х43-45М-2-1			<i>в</i>	
Х43-46-2	1470	1236	<i>б</i>	8
Х43-47-2	2100	1872	<i>б</i>	12

33. Габаритные и присоединительные размеры магнитных патронов Г42, ОСТ Г42-1—84 (см. рис. 24)

Типоразмер	Масса ферромагнитных частиц, задерживаемых патроном, кг	Размер, мм, не более			
		<i>D</i>	<i>d</i>	<i>L</i>	<i>l</i>
Г42-11А	0,030	28	15	80	68
Г42-11	0,050			123	112
Г42-12А	0,075			132	117
Г42-12	0,100	38	20	174	159
Г42-13А	0,150			229	156
Г42-13	0,200				211
Г42-14А	0,250	78	39	220	205
Г42-14	0,400			295	280

НПОСО) предназначен для очистки СОЖ вязкостью до 8 мм²/с, используемых на станках, работающих абразивными инструментами (шлифовальных, хонинговальных и др.). Плотность удаляемых частиц более 2 кг/дм³, размер — не более 2 мм. Давление (МПа) СОЖ на входе в гидроциклон 0,25±0,05, на выходе — 0,1.

Для очистки масляных СОЖ можно использовать ряд фильтров, предназначенных для гидравлических и смазочных систем различных машин (табл. 35), а также магнитные уловители С43, выпускаемые

Ульяновским производственным объединением «Гидроаппарат».

Для периодической очистки и поддержания тем самым определенного уровня чистоты масляных СОЖ вязкостью 12—500 мм²/с в цеховых условиях применяется *передвижная станция* СОГ-П1М: номинальная тонкость очистки — 10 мкм; номинальная подача (в зависимости от вязкости СОЖ) — до 35 л/мин; максимальное давление нагнетания — 1,0 МПа; масса — не более 300 кг; габаритные размеры —

34. Основные габаритные и присоединительные размеры гидроциклонов Х45-3, ТУ 2-053-1527—80 (см. рис. 25)

Типоразмер	Расход СОЖ номинальный, л/мин	Размер, мм, не более						<i>d</i>
		<i>H</i>	<i>h</i>	<i>B</i>	<i>D</i>	<i>a</i>	<i>c</i>	
Х45-32	25	285	250	95	80	60	14,5	Труб. 3/4"—А
Х45-33	50							
Х45-34	100	440	400	155	125	95	31	Труб. 1"—А

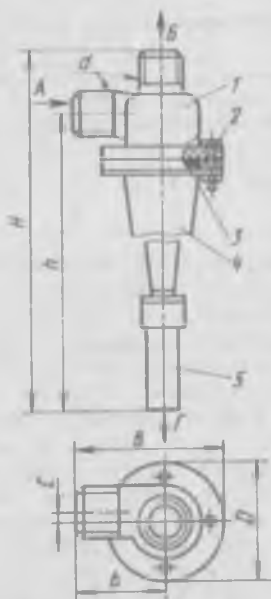


Рис. 25. Гидроциклон X45-3:

А—вход загрязненной СОЖ; Б—выход очищенной СОЖ; Г—отвод шлама (сгущенного продукта); 1—корпус; 2—болт; 3—уплотнительное кольцо; 4—конус; 5—наконечник

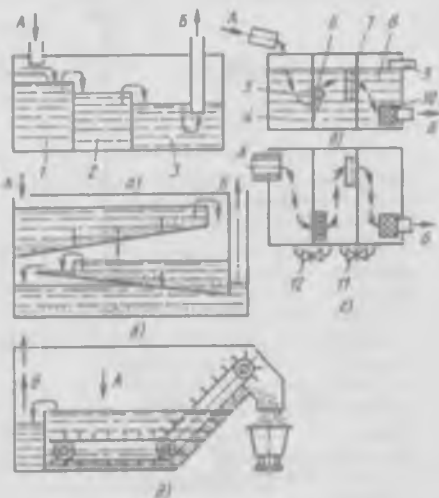


Рис. 26. Типовые схемы (а—д) гравитационных баков-отстойников:

А—загрязненная СОЖ; Б—очищенная СОЖ; 1, 4—приемные камеры; 2, 3, 8—камеры; 5—наклонный карман; 6, 7—сетка; 9—сливная труба; 10—приемный фильтр; 11—вентиль; 12—обводная труба

635 × 1480 × 1100 мм; изготовитель—Дагестанский завод «Гидроавтоматдеталь» (г. Избербаш). Установки аналогичного назначения СОГ-913 и СОГ-914 разработано и поставляет по договорам НПО «Автопромтермообработка» (г. Курган); тонкость очистки масла—до 5 мкм; подача—до 35 л/мин; габаритные размеры—420 × 815 × 970 мм.

Все остальные элементы систем применения СОЖ проектируют и изготавливают только для своих целей сами промышленные предприятия и лишь некоторые установки поставляются на основе прямых договоров.

Простейшими очистителями являются гравитационные баки-отстойники, на дно которых твердые частицы осаждаются под действием силы тяжести (рис. 26). Емкость бака должна превышать минутный расход жидкости в 10—12 раз. Гравитационные баки-отстойники снабжают обычно вертикальными перегородками, образующими лабиринт сообщающихся камер, по которым с возможно меньшей скоростью движется СОЖ.

Намывные фильтры предназначены для тонкой очистки масляных и синтетических СОЖ (рис. 27). Установки очистки

35. Фильтрующие устройства, которые могут быть использованы для очистки СОЖ (серийно выпускаются НПОСО)

Изделие	Жидкость		Давление жидкости номиналь- ное, МПа	Толщина фильтра: шир. мм	Расход жид- кости номи- нальный, л/мин
	Вид	Кинемати- ческая вязкость, мм ² /с			
Фильтры Ф10 с индикатором загрязненности и сменным фильтрующим элементом (три типоразмера)	ММ, НЖ	До 500	6,3	10—40	25—63
Фильтры всасывающие (применные) сетчатые С41-3 (20 типоразмеров)	ММ	10—300	—	80—160	2—400
Фильтры всасывающие (применные) с электровизуальной сигнализацией о загрязнении ФВСМ1 (12 типоразмеров)	ММ, НЖ	10—80	—	40—160	32—80
Фильтры сетчатые АС42-5, ВС42-5 (24 типоразмера), С42-54А	ММ	До 500	0,63	40—160	4—100
Фильтры напорные с индикатором загрязненности ФГМ16 (шесть типоразмеров)	ММ, НЖ	10—200	16	10—40	40—80
Фильтры напорные на давление 32 МПа типа ФГМ32 (24 типоразмера)	ММ, НЖ	12—500	32	5—40	16—400
Фильтры магнитно-пористые ФМП (два типоразмера)	ММ	До 500	1,6	40	40
Фильтр встраиваемый полнопоточный ФВ	ММ	12—500	6,3	10	100

Примечание. ММ — минеральное масло; НЖ — негорючая жидкость класса НРС («Промгидро»), класса НФД («Софол»).

СОЖ с намывными фильтрами работают, как правило, в автоматическом цикле. В установках небольшой производительности, где применение автоматики экономически нецелесообразно, используют ручное управление. Тонкость очистки в намывных фильтрах (см. табл. 26) зависит в основном от применяемого вспомогательного фильтрующего

материала, в качестве которого используют диатомит, кизельгур, фильтроперлит.

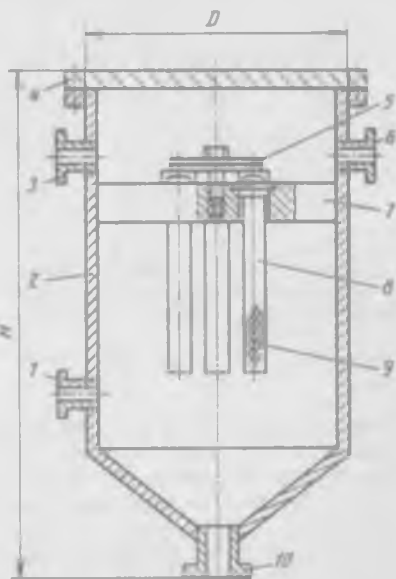
Фильтры полосовые предназначены для очистки водных СОЖ (рис. 28).

Весь процесс очистки в этих фильтрах автоматизирован.

Принцип работы многоярусных полосовых фильтров (рис. 29) аналогичен.

Рис. 27. Фильтры намывные:

1—патрубок подачи загрязненной СОЖ; 2—цилиндрический корпус; 3—патрубок подачи воздуха; 4—крышка; 5—прихват; 6—патрубок для очищенной СОЖ; 7—плата; 8—фильтровальный патрон; 9—сетка; 10—патрубок для сброса шлама и порошка



Флотаторы (ФО) предназначены для удаления из водных СОЖ мелкодисперсного шлифовального шлама, взвешенных «инородных» и посторонних масляных включений, колоний микроорганизмов с исходной концентрацией примесей не более 0,4—0,5 г/л со средним эквивалентным диаметром не более 20—30 мкм. В многоступенчатых системах очистки ФО устанавливают после гидроциклонов, батарей гидроциклонов, магнитных сепараторов и других очистителей. ФО обеспечивают степень очистки СОЖ от шлифовального шлама—85—95%, от масляных включений—60—70%.

НПО «Автопромтермообработка» разработало и поставляет по договорам гамму установок для очистки СОЖ от механических примесей.

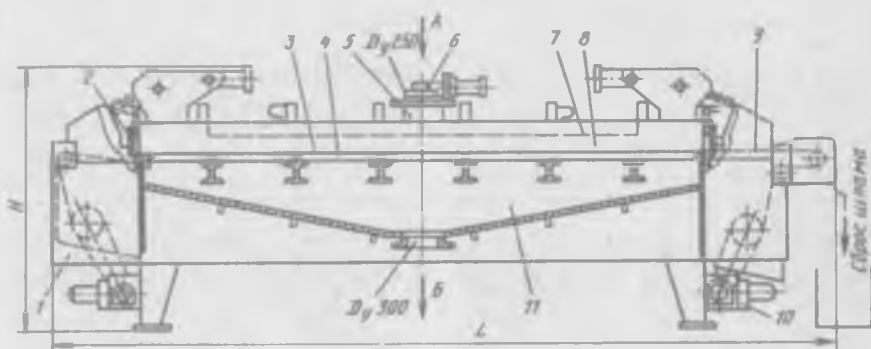


Рис. 28. Фильтр полосовой:

A, B—соответственно загрязненная и очищенная СОЖ;

1—подающее устройство с приводом; 2—крышка верхней камеры; 3—прижим; 4—сетчатая перегородка; 5—нагнетательный трубопровод; 6—дисковый затвор; 7—верхняя камера; 8—распределительный лоток; 9—фильтровальная ткань; 10—приемное устройство с приводом; 11—нижняя камера

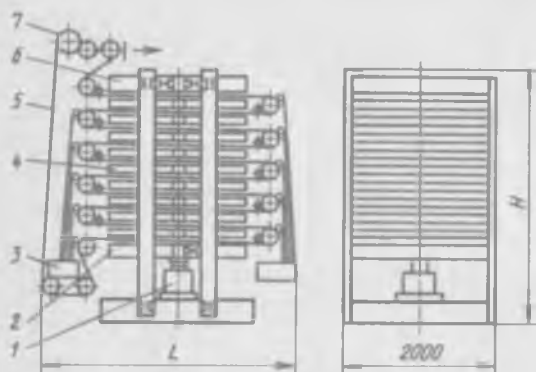


Рис. 29. Фильтр многослойный бумажный:

1—механизм зажима; 2—нижняя нажимная плита; 3—емкость; 4—подвижные фильтровальные плиты; 5—замкнутая фильтровальная сетка и бумага; 6—верхняя опорная плита; 7—рулон фильтробумаги

Установка УФЭР-6000 (рис. 30) предназначена для очистки водных СОЖ на операциях обработки заготовок лезвийными инструментами. Установка включает гидровакуумный фильтр, подпиточный бак, насосную станцию, системы аэрации, маслоудаления и автоматики. Производительность установки—6000 л/мин; тонкость очистки—до 30 мкм, габаритные размеры—

10000 × 8000 × 4200 мм. Объединив две или три установки УФЭР-6000, можно получить установки очистки СОЖ производительностью 12000 или 18000 л/мин.

Аналогичная установка УФЗШ-3000 для очистки водных СОЖ на операциях шлифования работает также на основе гидровакуумного фильтра: производительность—3000 л/мин; тонкость очистки—до 20 мкм; габаритные разме-

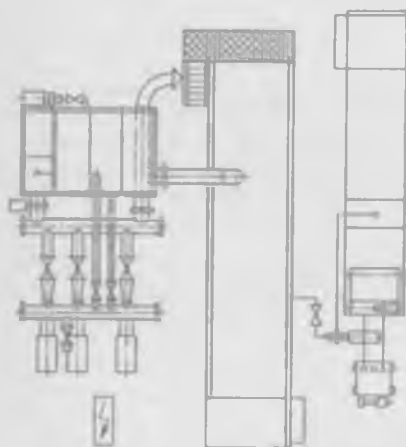


Рис. 30. Схема установки УФЗР-6000 для очистки водных СОЖ

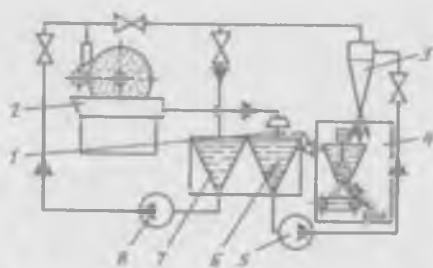


Рис. 31. Схема индивидуальной одностадийной системы очистки СОЖ на основе гидроразделителей:

1—фильтр грубой очистки; 2—станок; 3—гидроциклон; 4—устройство обжигивания шлама; 5, 8—насос; 6—приемная емкость; 7—промежуточная емкость

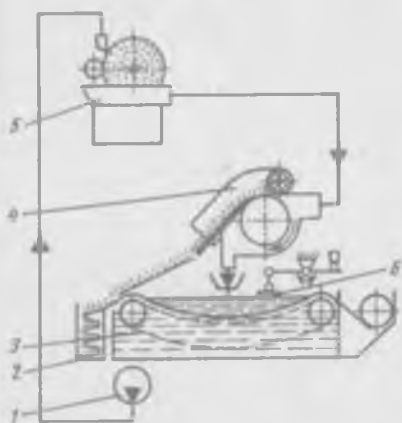


Рис. 32. Схема индивидуальной двухстадийной системы очистки СОЖ на основе магнитного сепаратора и фильтра-транспортера: 1—насос; 2—отработанная фильтрующая лента; 3—фильтр-транспортер; 4—магнитный сепаратор; 5—станок; 6—управляющий механизм

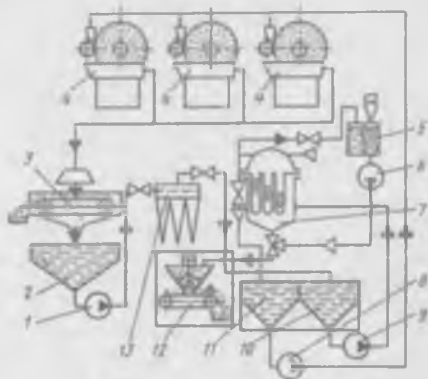


Рис. 33. Схема централизованной двухстадийной системы очистки СОЖ на основе батарей гидrocиклонов и намывных фильтров:

1, 6, 8, 9—насос; 2—приемная емкость; 3—фильтр грубой очистки; 4—станок; 5—емкость с вспомогательным фильтрующим материалом; 7—фильтр; 10—емкость для чистой СОЖ; 11—промежуточная емкость; 12—устройство обезвреживания шлама; 13—батарея гидrocиклонов

ры — 10000 × 8000 × 4200 мм. Комплекс из двух установок УФЗШ-3000 обеспечивает удвоенную производительность — 6000 л/мин.

В установке УФМ-70 масляные СОЖ фильтруются через намывной фильтр или через шелковую сетку с применением или без применения фильтровальной бумаги, в автоматическом или ручном режиме. Производительность — 70 л/мин; тонкость очистки — 5—50 мкм; габаритные размеры — 1700 × 900 × 1900 мм. Аналогичная по принципу действия установка большой производительности (10000 л/мин) УФМ-10000 имеет габаритные размеры 24000 × 10000 × 5500 мм (для групповых и централизованных систем применения СОЖ).

При среднем уровне требований к качеству деталей используют

индивидуальные одностадийные системы применения СОЖ, в которые в качестве очистителей включают гидrocиклоны (ГЦ; рис. 31), фильтры-транспортеры, намывные фильтры для очистки от частиц любого материала, магнитные сепараторы при обработке заготовок из магнитных материалов.

Если к качеству деталей предъявляют повышенные требования, используют двухстадийные системы применения СОЖ, например, на основе магнитных сепараторов и фильтров-транспортеров (рис. 32), магнитных сепараторов и ГЦ первой и второй ступеней, ГЦ и намывных фильтров и др. При этом в системах на основе ГЦ должны быть предусмотрены фильтры грубой очистки (типа сеток) и устройства для обезвреживания шлама (см. рис. 31).

При использовании СОЖ одного состава на нескольких или всех станках цеха (корпуса) целесообразны *групповые или централизованные системы применения СОЖ*, в которых гораздо эффективнее решаются вопросы обезжиривания, удаления, транспортирования и утилизации шлама, приготовления, регенерации и разложения СОЖ. Централизованные и групповые системы могут быть одно-, двух- и многостадийными. На рис. 33 показана схема двухстадийной централизованной системы на основе батарей ГЦ и намывных фильтров.

8. ОХРАНА ТРУДА И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С СОТС

Общие требования. Помещения для хранения и приготовления СОТС должны быть оборудованы приточно-вытяжной вентиляцией и отоплением (СНиП 2.04.05—86), водопроводной системой и канализацией (СНиП 2.04.01—85), освещением (по СНиП П-4—79) и соответствовать требованиям ГОСТ 12.3.025—80 и санитарным правилам [25]. Все этапы приготовления и транспортирования СОТС желательно механизировать и автоматизировать, оборудование необходимо максимально герметизировать и заземлить от статического электричества по ГОСТ 12.1.018—86 (ГОСТ Р 12.1.018—92). Производственные помещения, в которых осуществляются процессы обработки резанием (в том числе с применением СОТС), должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.3.025—80 и указанных в нем документов.

Более подробно требования безопасности при хранении, транспортировании, приготовлении и эксплуатации СОТС изложены в технических условиях на конкретные продукты. В этом документе приведен класс опасности СОТС по ГОСТ 12.1.007—76 (обычно IV класс — малотоксичные вещества*), характеризуется раздражающее и сенсибилизирующее действие СОТС на слизистые оболочки и кожу, указаны предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны и методы их определения (ПДК веществ, образующихся при обработке резанием, регламентируются ГОСТ 12.1.005—84). В технических условиях на СОТС характеризуются также пожароопасные свойства масляных и концентратов водосмешиваемых СОТС (горючая или малогорючая жидкость, температура вспышки, самовоспламенения и др.), указаны средства пожаротушения (пена, песок, углекислый газ, распыленная вода и др.).

Токсикологическая характеристика СОТС. Современные СОТС представляют собой сложные многокомпонентные системы, содержащие присадки различного назначения, причем некоторые из них могут быть токсичными для работающих. Отдельные химические соединения, не обладающие выраженными токсичными свойствами, могут их приобретать в результате взаимодействия или синергического эффекта различных химических со-

* К III классу опасности (вещества умеренно опасные) относятся СОТС Аквэкс, Гидропол-1, Эдоксом (Э-2), Эмульсол Т, ЭГТ, ЭТ-2.

ставляющих СОТС, обрабатываемых и инструментальных материалов.

При длительном контакте с кожными покровами и при поступлении паров и тумана через дыхательные пути СОТС могут оказывать то или иное вредное воздействие на организм работающих. Степень и характер этого воздействия зависит от химического состава СОТС и обрабатываемого материала, способа подачи жидкости в зону резания, режимов резания, наличия очистки СОТС и различных защитных и вентиляционных устройств, условий окружающей среды (температуры, влажности и т. п.). Так, например, при работе с минеральными маслами и масляными СОТС на повышенных режимах резания, при обработке труднообрабатываемых материалов и при интенсивном разбрызгивании жидкости наблюдается дымление СОТС, образование масляного тумана. В результате поступление в дыхательные пути масляного аэрозоля и летучих продуктов термодеструкции СОТС (окиси углерода, хлористого водорода, углеводородов, сернистого ангидрида, альдегидов) может в 2—13 раз превысить норму* [5] (перечень химических соединений, подлежащих гигиеническому контролю в воздухе рабочей зоны при эксплуатации СОТС, приведен в санитарных правилах [25]).

Длительная работа в таких условиях приводит к раздражению слизистых оболочек верхних

дыхательных путей и даже развитию липоидной пневмонии, снижению общей иммунологической реактивности организма, изменению нервной системы [5, 26].

При длительном контакте с масляными СОТС у рабочих могут возникать профессиональные кожные поражения (дерматозы): масляные фолликулиты, гиперкератозы, масляные папиломы, хронические пигментации, сухость и шелушение кожи [26]. Однако их возникновение и развитие во многом определяются индивидуальной предрасположенностью работающих, наличием на коже микротравм (царапин, ссадин, раздражений кожи спецодеждой, пропитанной маслом). Наиболее часто локализация дерматозов наблюдается на кистях, особенно на правой.

Эмульсионные СОТС, содержащие специальные присадки, могут вызывать повреждение жировой смазки кожи, ее покраснение и появление узелков, пузырьков, корочек (дерматитов). Синтетические СОТС, содержащие некоторые виды мыл, могут вызывать мацерацию кожного покрова (размягчение рогового слоя, появление трещин и ссадин). Из встречающихся заболеваний наиболее часто при работе с водосмешиваемыми СОТС возникают профессиональные эпидермиты, проявляющиеся в виде резкой сухости кожи, умеренного шелушения, болезненных трещин [5, 26].

Интенсивное испарение воды при эксплуатации водосмешиваемых СОТС приводит к увеличению концентрации их паров в рабочей зоне, а также концентрации присадок в самих СОТС, превы-

* ПДК масляного аэрозоля товарных масляных СОТС в воздухе рабочей зоны составляет 5 мг м^{-3} , паров углеводородов — 300 мг м^{-3} .

шая гигиенические нормативы. При длительном воздействии эмульсий с содержанием нитрита натрия свыше 0,2% у работающих возникают головные боли, быстрая утомляемость, потеря аппетита, плохой сон, боли в конечностях вследствие нарушения газового обмена в организме, образования в крови метагемоглобина [5, 26]. Триэтанолламин, обладая аллергизирующим действием на организм, вызывает дерматиты [26]. Возникновению контактных дерматитов способствуют также хром, никель, кобальт, появление которых в СОТС возможно при обработке легированных сталей и сплавов [5].

Важным фактором санитарно-гигиенического состояния СОТС является степень ее поражения микроорганизмами. Микрофлора СОТС может вызывать вторичное инфицирование фолликулов и микротравм, усиливать мацерацию кожи; в результате жизнедеятельности микрофлоры в СОТС могут возникать также токсичные вещества [5].

Современные СОТС перед внедрением в промышленность проходят всестороннюю лабораторную токсикологическую оценку и санитарно-гигиенические исследования в производственных условиях. Поэтому в соответствии с санитарными правилами [25] к промышленному применению рекомендуют только СОТС, имеющие разрешение органов здравоохранения. Ссылка на этот документ приведена в разделе «Требования безопасности» технических условий на каждую СОТС. Вместе с тем устранение возможного вредного воздействия СОТС на организм работающих

может быть достигнуто лишь при условии осуществления комплекса профилактических мероприятий и мер индивидуальной защиты.

Санитарно-гигиенические мероприятия при работе с СОТС. 1. Применять только СОТС, имеющие соответствующее разрешение органов здравоохранения.

2. Лица, поступающие на работу, связанную с контактами с СОТС, подлежат обязательному предварительному медицинскому освидетельствованию в соответствии с приказом Минздрава СССР № 700 от 19 июня 1984 г. Рекомендуется один раз в год проводить медицинское обследование рабочих, контактирующих с СОТС. В соответствии с ГОСТ 12.3.025—80 лица, поступающие на работу, связанную с обработкой вредных металлов и их сплавов с применением СОТС, подлежат обязательному предварительному и периодическому медицинскому осмотру. Лица, имеющие предрасположенность к кожным заболеваниям, страдающие экземой или аллергическими заболеваниями, а также имеющие другие противопоказания, предусмотренные соответствующими перечнями органов здравоохранения, к работе не допускаются.

3. При работе с СОТС необходимо соблюдать требования безопасности и производственной санитарии при обработке металлов резанием согласно ГОСТ 12.3.025—80 и санитарным правилам [25].

4. В целях обеспечения индивидуальной защиты работающих от воздействия СОТС на кожные покровы необходимо регулярное снабжение станочников соответствующей спецодеждой, спецобувью

и предохранительными приспособлениями в соответствии с Типовыми отраслевыми нормами, утвержденными в установленном порядке. Смена и стирка (химчистка) спецодежды осуществляются по мере загрязнения, но не реже 2 раз в месяц. Эффективным способом очистки спецодежды от масляных СОТС является замачивание ее в 1%-ном растворе калинированной соды в течение 3—4 ч, затем повторяющаяся трижды стирка в 1%-ном растворе смачивателя ОП-7 при температуре 85—90 °С и тщательное полоскание [26].

5. Руки, загрязненные маслами, следует мыть с использованием пасты Бруевича следующего состава, мас. доля, %: калийное 40%-ное жидкое мыло—12,5; хозяйственное мыло—16,7; циклогексанол—12,0; этилцеллозольв—12,0; антисептик—1,0; каолин обожженный—40,0; вода—5,8 и другие очистители (табл. 36).

Рабочим с повышенной чувствительностью кожи к мылу или страдающим экземами и дерматитами рекомендуется применять безмыльные очистители кожи, мас. доля, %: сульфированное касторовое масло—20, каолин—76, ланолин—4.

6. Для защиты кожного покрова от воздействия СОТС и пыли токсичных металлов следует применять дерматологические защитные средства (профилактические пасты, мази, биологические перчатки) по ГОСТ 12.4.068—79 и санитарным правилам [25]. Сведения о некоторых защитных мазах, пастах, кремах и очистителях кожи, рекомендуемых при работе с СОТС, приведены в табл. 36, а более подробно—в [29]. Допускается применять дру-

гие профилактические пасты и мази по рекомендациям органов здравоохранения.

7. По ГОСТ 12.3.025—80 и санитарным правилам [25] для локализации вредных веществ, в том числе аэрозолей СОТС, образующихся при обработке резанием, в производственных помещениях должны быть местные отсасывающие устройства со специальными насадками или укрытиями, обеспечивающими полное удаление вредных веществ из зоны резания; помещения, в которых хранят и готовят растворы бактерицидов для СОТС, должны быть оборудованы местной вытяжной вентиляцией.

Отечественная промышленность выпускает несколько типов агрегатов для местного отсоса аэрозолей СОТС. В ЭНИМСе (Москва) разработаны агрегаты АЭ2-12, АЭ3-12 и АВ-36, имеющие три ступени очистки воздуха от аэрозолей СОТС. Агрегаты для очистки воздуха (до 85—95%) на группе станков разработаны на Харьковском тракторном заводе [33]. Ряд волокистых ротационных высокоскоростных фильтров для очистки воздуха от масляного тумана (до 95%) производительностью 750—2000 м³/ч разработан НИИОГАЗ и ПО «АвтоЗИЛ» (Москва). Известно и зарубежное оборудование, например обестуманивающие установки К10, К30, К15, К20 фирмы «Хофман» (ФРГ), обеспечивающие степень очистки 99,9%.

8. При разливе СОТС в помещении или на открытой площадке место разлива следует засыпать песком, который затем собрать неискрящим инструментом и вывезти в отвал в соответствии с инструкцией «Порядок накопле-

36. Некоторые защитные мази, пасты, кремы и очистители, рекомендуемые при работе с СОТС [25, 26, 28]

Наименование (технические условия)	Завод-изготовитель	Назначение
Фурацилиновая защитная паста (МОТУ 42-34-22—66) Паста ИЭР-2 (ФС 42-1411—80)	Лубенский химико-фармацевтический Казанское ПО «Татхим-фармпрепараты»	Универсальная защитная паста Защитная паста для работы с водосмешиваемыми СОТС
Крем «Защитный» (ТУ 47-7-11к 73) Силиконовый крем для рук (ОСТ 18-21—81)	Московское ПО косметической промышленности «Свобода»	Защитный крем для работы с водосмешиваемыми СОТС
Паста ХИОТ-6 (ФС 42-1532—80) Паста ИЭР-1 (ФС 42-1402—80)	Казанское ПО «Татхим-фармпрепараты»	Защитная паста для работы с масляными СОТС
Паста «Айро» (ТУ 6-15-635—77)	Филиал «Сподриба» ПО «Латвбытхим» (г. Добеле)	
Крем пленкообразующий (ОСТ 18-21—81)	Комбинат «Крымская роза» (г. Симферополь)	Защитный крем для работы с масляными СОТС
Паста моющая для рук (ТУ 6-15-885—79) Очиститель рук (в аэрозольной упаковке, ТУ 6-15-1044—77) Мыло ДНС-АК (ТУ 6-15-615—89)	ПО «Латвбытхим» Брестский завод бытовой химии Шебекинский химический завод	Очиститель кожи при работе с масляными СОТС

ния, транспортирования, обезвреживания и захоронения промышленных отходов (санитарные правила)», утвержденной Минздравом СССР 29.12.84 г. № 3183—84.

Администрация промышленных предприятий постоянно должна осуществлять мероприятия по повышению культуры производства, соблюдению рабочими обще-

ственной и личной гигиены, содействовать проведению эффективной санитарно-просветительной работы по предупреждению профессиональных заболеваний

Список литературы

1. Акустическая установка для приготовления СОЖ в автоматическом режиме Информационный

лист межотраслевой тематической выставки «Научно-техническая информация в СССР». М. ВДНХ СССР, 1980. 2 с.

2. Балабышко А. М. Прогрессивное оборудование для получения высококачественных СОЖ: Обзор. М.: ВНИИТЭМР, 1989. 40 с.

3. Белянин П. Н., Данилов В. М. Промышленная чистота машин. М.: Машиностроение, 1982. 224 с.

4. Бердический Е. Г. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки материалов: Справочник. М.: Машиностроение, 1984. 224 с.

5. Гигиена и токсикология смазочно-охлаждающих жидкостей / Ю. Н. Кундиев, И. М. Трахтенберг, Г. В. Поручкий и др. Киев: Здоровье, 1982. 120 с.

6. Дубровский Ю. С., Румянцев Т. А., Чугай Г. И. Эксплуатационные свойства водосмешиваемых смазочно-охлаждающих технологических средств. Киев: УкрНИИНТИ, 1991. 64 с.

7. Евтихин В. Ф., Малахова С. Г. Очистка резервуаров от остатков и отходов нефтепродуктов. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1984. 63 с.

8. Фимов В. В. Научные основы техники подачи СОЖ при шлифовании. Саратов: Изд-во Саратовск. ун-та, 1985. 138 с.

9. Запирка смазочно-охлаждающих технологических средств от биоповреждения / В. И. Качан, Ю. С. Дубровский, О. С. Марушевская, Е. В. Литвин // Химия и технология топлив и масел. 1989. № 4. С. 37—39.

10. Каталог взаимозаменяемости смазочно-охлаждающих жидкостей, производимых в странах—членах СЭВ для обработки металлов резанием. 2-е изд., перераб. и доп. / Ю. С. Дубровский, А. К. Караулов, В. И. Костюк и др. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 191. 56 с.

11. Качан В. И., Алятьева Т. А., Григорьева Г. П. Бактериальное разрушение смазочно-охлаждающих жидкостей и методы его предотвращения. Микробиологический журнал. 1981. Т. 41. С. 54—59.

12. Качан В. И., Ефремов В. В. Методы определения микробопоражения смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) // Химия и технология топлив и масел. 1978. № 5. С. 57—59.

13. Качан В. И., Клявлини Е. А., Сучкова Р. В. Бицидные присадки к смазочно-охлаждающим жидкостям для металлообработки. Киев: УкрНИИНТИ, 1989. 28 с.

14. Малиновский Г. Т. Масляные смазочно-охлаждающие жидкости для обработки металлов резанием. М.: Химия, 1988. 192 с.

15. Механизация зачистных работ на нефтеналивном флоте: Технологические схемы, технические средства и параметры. Одесса: ЧЦПКБ, 1977. 10 с.

16. Механизация трудоемких и вспомогательных процессов в механических цехах: Справочник Под общ. ред. А. М. Тихонцова. Киев: Техника, 1987. 160 с.

17. Моющие-дезинфицирующие средства для металлообработки / Т. А. Румянцев, В. Т. Проппин, Г. Н. Чугай, Р. В. Сучкова. Киев: УкрНИИНТИ, 1989. 53 с.

18. Оборудование для очистки и приготовления смазочно-охлаждающих жидкостей: Альбом-каталог А 37.057.005—81. Курган. КЭТИ-автопром, 1981. 72 с.

19. Оборудование для эксплуатации смазочно-охлаждающих жидкостей: Альбом-каталог типовых прооктов 160.312.71—87. Горький: ВНИИТСМ «Сириус», 1987. 53 с.

20. Ошер Р. Н. Производство и применение смазочно-охлаждающих жидкостей (для обработки металлов резанием). М.: Гостоптехиздат, 1963. 226 с.

21. Пожаробезопасные технические моющие средства: Каталог / И. К. Гетманский, А. И. Щеголь-Алимова, Б. И. Иванов и др. М.: Машиностроение, 1982. 32 с.

22. Применение СОЖ при обработке резанием (опыт Волжского автомобильного завода им. 50-летия образования СССР) / Л. А. Иванова, Ю. И. Иванов, М. И. Клушин и др. М.: НИИМаш, 1975. 87 с.

23. Родина А. Г. Методы водной микробиологии. Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, 1965. 362 с.
24. Румянцев Т. А., Морозова Л. П., Клявлина Е. А. Текущий контроль химико-технологических свойств эмульсионных и синтетических смазочно-охлаждающих средств и их корректировка. Нефтепереработка и нефтехимия. 1979. Вып. 17. С. 103—106.
25. Санитарные правила при работе со смазочно-охлаждающими жидкостями и технологическими смазками. № 3935—85. Изд. официальное. М.: Минздрав СССР, 1985. 12 с.
26. Смазочно-охлаждающие жидкости для обработки металлов резанием: Рекомендации по применению. Под ред. М. И. Клушина. М.: НИИМАШ. 1979. 96 с.
27. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: Справочник. Под ред. С. Г. Энтелеса, Э. М. Берлинера. М.: Машиностроение, 1986. 352 с.
28. Средства защиты рук рабочих на машиностроительных предприятиях / М. Е. Цуцков, В. Н. Ардасенов, М. Л. Брайнина и др. М.: Машиностроение, 1983. 111 с.
29. Средства индивидуальной защиты рук / М. Л. Брайнина, А. П. Климова, И. С. Новожилова и др. М.: Профиздат, 1990. 128 с.
30. Тейтср Е. Е., Шильникова В. К., Перверзева Г. И. Практикум по микробиологии. М.: Колос, 1979. 213 с.
31. Фильтрон-1—мобильная установка очистки моющих растворов. Бровары: ГСКТБ моечного оборудования, 1989. 1 с.
32. Худобин Л. В., Белов М. А. Шлифование заготовок из коррозионно-стойких сталей с применением СОЖ. Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1989. 148 с.
33. Худобин Л. В., Бердичевский Е. Г. Техника применения смазочно-охлаждающих средств в металлообработке. М.: Машиностроение, 1977. 189 с.
34. Экспериментально-механический завод Укрмясомолпрома: Каталог изделий. Киев: Реклама, 1978. 24 с.
35. Рутман П. А., Лобаннов В. С., Фрайнштейн И. З. Исследование влияния эмультала на эксплуатационные свойства СОЖ // Вестник машиностроения. 1990. № 4. С. 54—56.
36. Mang T. Wassermischbare Kühlschmierstoffe für die Zerspaltung. Grafenau: Expert verlag. 1980. 208 с.
37. Threadgill I. H. Recommendations for the cart and control of coolant sumps / Plant Engineering. 1981. V. 35. N 1. P. 75—77.

Глава X. АКТИВАЦИЯ СОТС ВНЕШНИМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ

Физические методы активации представляют собой дополнительные энергетические воздействия на СОТС с целью повышения эффективности последних. Такие воздействия могут осуществляться либо предварительно, либо непосредственно в зоне обработки. Применение технологии активации СОТС необходимо и экономически оправдано в тех случаях, когда нежелательно введение тех или иных функциональных присадок, например, по причинам, связанным с санитарией и гигиеной, экологией или особыми требованиями к загрязнению поверхности детали.

Поскольку существует большое разнообразие вариантов энергетического воздействия на смазочную среду, можно реализовать самые различные принципиальные и конструктивно-технологические подходы к процессу активации.

Классификация методов физической активации. Физическую активацию СОТС в зависимости от природы подводимой к среде энергии можно разделить на группы, указанные в табл. 1.

Электрическая активация заключается в приложении электрического поля, тока или разряда к СОТС. Преимущественно активация осуществляется

при прохождении потока СОТС через специальное устройство — активатор. Если активирующее воздействие вызывает нестойкие изменения в СОТС, эти устройства следует располагать по возможности ближе к зоне резания. На рис. 1 схематично показаны основные методы электрической и электрохимической активации жидкостей.

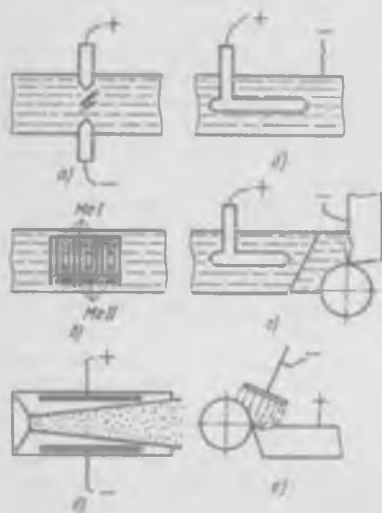
Электрическое поле как активирующий фактор применяют по отношению к диэлектрическим средам. Уровень активации определяется напряженностью поля в рабочей зоне активатора. Напряжение между рабочими электродами ограничено напряжением пробоя рабочего зазора. Возможна активация электрическим полем диспергированной струи СОТС (рис. 1, д).

Активация *электрическим разрядом* (рис. 1, а) осуществляется как для проводящих, так и для диэлектрических сред. Главными параметрами регулирования процесса служат частота и интенсивность импульсов. Возможен и непрерывный разряд (коронного типа), инициируемый в газовых средах (рис. 1, е). При активации импульсами происходит сильный

1. Классификация методов физической активации СОТС

Активация	Тип СОТС		
	Минеральное масло	Водные составы	Газы
Электрическая:			
электрическим полем	+	+	×
электрическим током (электролиз)	—	+	—
электроимпульсным разрядом	+	+	×
коронным разрядом	—	—	+
Электрохимическая:			
поверхностным электрическим зарядением	—	+	—
встроенными гальванозементами	—	+	—
Электромагнитными излучениями в диапазоне длин волн:			
инфракрасном	×	×	—
оптическом	×	×	×
ультрафиолетовом	+	+	+
рентгеновском	×	×	—
гамма	×	×	—
Термическая	+	+	+
Механическая:			
ультразвуком	+	+	×
трением и диспергированием	+	+	—

Обозначения «+» — известное применение для данной СОТС; «—» — применение невозможно; «х» — применение неизвестно, но в принципе возможно.



местный разогрев среды по каналу прохождения тока, возникают ударная волна и кавитация.

Электрический ток (электролиз) применяется для водных составов со сравнительно высокой проводимостью. Пропускание тока через СОТС может осуществляться в отдельном приборе — активаторе — или между зоной резания и вспомогательным электродом. В первом случае (рис. 1, б)

Рис. 1. Методы электрической активации СОТС:

а — электрический разряд; б — электролиз; в — активация гальванозементами; г — поверхностное электрическое зарядение; д — электризация распыленной жидкостью; е — коронный разряд

схема активации применима для закрытых зон резания (например, при обработке отверстий), во втором — процесс резания активируется непосредственно в зоне обработки (рис. 1, 2).

При активации эмульсий и других коллоидных систем коллоидные частицы могут под действием электрического тока приводиться в движение (электрофорез). В зависимости от направления тока зона резания при этом может обогащаться либо обедняться дисперсной фазой. Это дает возможность управлять смазочной характеристикой СОТС в тонком граничном слое. Для активации применяют как постоянный, так и переменный ток. Следует учитывать, что повышение силы тока ведет к разрушению (электрокоагуляции) эмульсий.

При данном виде активации проявляются такие сопутствующие процессы, как омический нагрев СОТС, электролиз ее компонентов, анодное растворение металла, газовыделение на электродах. Это ведет к ускоренному изменению химического состава СОТС и может требовать его периодической корректировки.

Электрохимическая активация — это условное название, охватывающее два вида активирующих воздействий: электрическое зарядение зоны резания до определенного значения электродного потенциала при малых значениях токов поляризации (см. рис. 1, 2) и введение в поток СОТС пар гальванозащитных элементов (рис. 1, 6).

Поверхностное электрическое заряджение зоны резания производится относительно введенного в поток СОТС вспомогательного электрода. При этом методе на

поверхностях, примыкающих к области стружкообразования, реализуются главным образом поверхностные химические, электролитические и физико-химические эффекты. Изменяя полярность и величину наложенного электродного потенциала, можно влиять на адсорбционные процессы и прочность тонких слоев металла. При токах поляризации до 10 мА см^2 в значительной мере уменьшается разрушающее действие электрического поля на эмульсии. Поляризация может быть катодной или анодной и в зависимости от технологии обработки осуществляется по потенциостатической либо гальваностатической схеме.

Искусственные гальванозащиты вводят в насадок для подачи СОТС — электролитов. Одно из конструктивных решений — это помещенные в трубопроводе несколько пар перфорированных шайб, выполненных из металлов с резким различием величины электродного потенциала в данном растворе (см. рис. 1, 6). Такой способ активации не требует подвода электроэнергии извне. Он воздействует на объемные свойства жидкости и поэтому применим для операций с «закрытой» зоной резания.

Магнитная активация осуществляется преимущественно для водных СОТС и заключается в пропускании активируемой жидкости через зазор сердечника электромагнита или систему постоянных магнитов. Регулирование воздействия на СОТС осуществляется путем изменения напряженности магнитного поля, а также скорости, направления и кратности прохождения СОТС через активатор. Физико-химические

2. Примеры применения некоторых методов активации СОТС внешними энергетическими воздействиями

Метод активации	Характеристика метода	Область применения и эффективность
Активация электрическим полем	Факел распыленной эмульсии перед зоной резания обрабатывается электрическим полем напряженностью 10^2 — 10^3 В/см	Точение углеродистых и легированных сталей твердосплавным инструментом. Увеличение стойкости резцов в 1,5—2 раза на чистовом режиме обработки
Воздействие коронным разрядом	В зоне резания устанавливается разрядник (активатор) с рабочим напряжением 20—30 кВ. Для ориентирования ионизированной области могут применяться управляющие электроды	Точение конструкционных углеродистых сталей на воздухе быстро-режущими резцами. Повышение стойкости инструмента в 2 раза
Электролиз	В сопловой насадке подачи СОТС монтируется рабочий электрод, вторым электродом служит корпус насадки. Плотность постоянного или переменного тока в активаторе 0,2—1 А/см ²	Точение стали 40Х резцами из Т15К6. СОТС 5%-ный и Укринол-1. Стойкость инструмента повышена в 2 раза
Использование встроенных гальваноэлементов	В сопловой насадке для подачи СОТС вмонтированы перфорированные шайбы из разнородных металлов: меди, железа. Число гальванопар—6—10. Производительность подачи СОТС—до 2 л/мин	Чистовое точение стали 12Х18Н10Т. Полиэмульсией эмульсола Т. Повышение стойкости инструмента в 1,5 раза
Поверхностное заряджение	Между зоной резания и вспомогательным электродом, введенным в струю подаваемого СОТС, создают электродный потенциал в пределах ± 2 В. Плотность тока поляризации—до 10 мА/см ² . Метод рекомендуется для водорастворимых СОТС при чистовых процессах обработки. Для анодноактивных ПАВ и эмульсий лучшие результаты дает анодное заряджение зоны резания	Чистовое точение стали 12Х18Н10Т резцами из ВК8. Повышение стойкости резцов в 1,5 раза. Круглое шлифование конструкционных и быстрорежущих сталей, сплавов ЖС6-КП4, ВТЗ-1. Повышение производительности обработки на 20%, увеличение стойкости алмазных кругов в 10 раз

свойства растворов, особенно наличие в них ферро- и парамагнитных примесей, а также полярных молекул, существенно влияют на результат активации. Имеются данные о том, что маг-

нитная обработка помимо активации облегчает последующую очистку СОТС от загрязнений. Вариант магнитной обработки являются применения пульсирующих, переменных или несиммет-

ричных магнитных полей в активаторах.

Активация электромагнитным излучением заключается в подводе к технологическим средам энергии электромагнитных колебаний высокочастотных диапазонов, главным образом ультрафиолетового (УФ), рентгеновского и гамма. Первый из них наиболее практически применим из соображения безопасности для персонала. Источником УФ-излучения служат обычно ртутно-кварцевые лампы. Если объектом УФ-активации служит воздух или кислород, промежуточным эффектом является образование озона, который впоследствии легко выделяет активный атомарный кислород.

Активация УФ-излучением происходит в активаторах лоткового типа, где облучается тонкий слой жидкости, стекающей по лотку.

Применение термической активации, т. е. нагрева СОТС, повышает реакционную активность смазки, но одновременно ухудшает охлаждающий эффект. Результатом термической активации может служить уменьшение вязкости, например, углеводородных СОТС. При нагреве жидкостей в рабочей зоне должны соблюдаться санитарно-гигиенические требования: исключение возможности ожогов оператора и снабжение оборудования эффективным отсосом паров.

Механическая активация может осуществляться путем воздействия на СОТС механических

колебаний, грения либо диспергирования. Для звуковой активации более всего пригоден ультразвук (УЗ). УЗ-обработка может проводиться в специальных емкостях или же при наложении колебаний на струю СОТС вблизи зоны резания. Ультразвук усиливает окислительные процессы на металле, способствует возникновению прерывистого контакта и, следовательно, лучшему проникновению СОТС в контактную зону. При этом также разрушается паровая пленка, препятствующая охлаждению, и облегчается очистка пор шлифовального круга при абразивных видах обработки. Активация *трением и диспергированием* применима к жидким и пластичным СОТС. В активаторе среда подвергается интенсивному перемешиванию и контактирует с трущимися рабочими органами установки (трибоактивация). При этом изменяются объемные физико-химические свойства сред.

Некоторые данные по практическому применению методов активации СОТС приведены в табл. 2.

Список литературы

1. Бердичевский Е. Г. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки материалов: Справочник. М.: Машиностроение, 1984. 224 с.
2. Латышев В. Н. Повышение эффективности СОЖ. 2-е изд. перераб. М.: Машиностроение, 1985. 64 с.

Глава XI. ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. РАЗЛОЖЕНИЕ, УТИЛИЗАЦИЯ И РЕГЕНЕРАЦИЯ ОТРАБОТАННЫХ ВОДОСМЕШИВАЕМЫХ СОТС

Машиностроение занимает четвертое место среди загрязнителей гидросферы — после черной металлургии, химической и целлюлозно-бумажной промышленности [1, 13]. Из общего стока, равного более $7 \text{ км}^3/\text{год}$, лишь немногим больше половины проходит через очистные сооружения, которые, как правило, не соответствуют современным экологическим требованиям. Причем доля так называемых маслосодержащих вод (отработанные водосмешиваемые СОТС, утечки из смазочных систем и маслохозяйств и т. п.) составляет 40—60% общезаводского стока. Их характеристика представлена в табл. 1. Раз-

лив, разбрызгивание, потери со стружкой и обтирочным материалом, просто слив СОТС в канализацию приводят к загрязнению почвы, водоемов и воздуха. Кроме того, при этом безвозвратно теряется и та часть компонентов (включая воду), которую можно было бы извлечь и использовать повторно для приготовления новой партии СОТС либо для других целей.

В процессе многократного использования при механической обработке металлов СОЖ истощаются и теряют свои технологические свойства. Основные причины этого следующие: накопление металлических частиц (пыли)

1. Характеристика сточных вод, содержащих СОЖ [2, 22]

Компонент стоков	Загрязнения	
	Наименование	Концентрация, г/л
Углеводородные СОЖ (масла, керосин, дизельное топливо и др.)	Частицы нефтепродуктов размером более 40 мкм	До 3
Эмульсии	То же, размером менее 40 мкм	До 60
Синтетические СОЖ на основе ПАВ, мыл, полимеров	Органические вещества	До 0,1
Синтетические СОЖ на основе растворов электролитов	Соли	До 200

и продуктов термического разложения масел; окисление масел в процессе работы, образование смол и др.; обеднение эмульсий в результате выноса эмульсола со стружкой (полосой); попадание в СОЖ масел, смазок и специжидкостей из гидравлических систем станков и станов; повышение содержания солей жесткости в водной фазе (выпаривание воды из эмульсии и внесение солей жесткости при добавлении воды); микробиологическое поражение (загнивание).

Последний фактор — основной в определении срока службы СОЖ. Бактериальная и грибная микрофлора развивается во всех видах водосмешиваемых СОЖ при их хранении и эксплуатации. В эмульсионных преобладают бактерии, в синтетических — дрожжевые и плесневые грибы. Полу-синтетические жидкости занимают промежуточное положение. Осуществляемые в процессе эксплуатации меры (очистка, введение биоцидов и др.) позволяют существенно продлить срок службы СОЖ.

Схемы установок и конструкции аппаратов для очистки описаны в [2, 20, 22]. Когда дальнейшее использование отработанной СОЖ становится невозможным, возникает необходимость ее удаления из системы и замены свежей.

Организация процессов утилизации и регенерации отработанных водосмешиваемых СОЖ имеет свои особенности и трудности: предприятия металлообработки расположены во всех городах страны и окружены жилыми массивами; диапазон их производственных мощностей чрезвычайно широк: очистные сооружения, от-

вечающие современным требованиям, имеются лишь на недавно введенных в строй крупных заводах; на большинстве предприятий либо имеются примитивные очистные сооружения, либо их вообще нет (причем не просматривается даже перспектива их строительства ввиду экономической нецелесообразности сооружения малых установок); установки утилизации и регенерации отработанных СОЖ требуют определенных капиталовложений, затрат тепло- и электроэнергии, воды, средств автоматики, наличия соответствующего персонала; в металлообработке нет должного опыта переработки эмульсий и растворов. В то же время в промышленности (химическая, нефтехимическая, нефтеперерабатывающая) имеется опыт разделения эмульсий и растворов по схемам, включающим различные комбинации традиционных седиментационных, механических, химических, физико-химических, термических и биологических способов. Все они весьма металло- и энергоемки, требуют значительных производственных площадей, соответствующего обслуживающего персонала. Схемы переработки многоступенчатые, так как ни один из перечисленных выше способов не позволяет полностью очистить водную фазу до норм сброса в водоем. Организация аналогичной совокупности процессов на всех машиностроительных заводах является с экономической точки зрения заведомо нерентабельной. Так, по опыту нефтехимии переработка эмульсий и растворов физико-химическими способами обходится примерно до 2,5 руб./м³, а простое сжигание — до 10 руб./м³. Однако

решать вопросы экологии необходимо. В этом плане оптимальным является сочетание общезаводских и локальных систем очистки. Последние позволяют наиболее целесообразно осуществить извлечение подлежащих утилизации компонентов и тем самым упростить общую очистку [12].

Ниже приведена характеристика основных способов переработки отработанных СОРС.

1. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ РАЗЛОЖЕНИЯ ОТРАБОТАННЫХ ЭМУЛЬСИЙ

Реагентные, коагуляционные и флютиационные способы переработки отработанных СОЖ. На рис. 1 приведена принципиальная схема типовой установки обезвреживания эмульсий. Отработанные СОРС поступают в приемную емкость 1, в которой в течение нескольких часов отстаиваются. Всплывшее масло сливается в емкость 10, осевший шлам — в сборник 11, а эмульсия насосом 2 подается в смеситель 3. Здесь СОРС обрабатывается серной кислотой, поступающей из

сборника 4, до достижения требуемого значения pH. Из центрального сепаратора 9 отделившаяся органическая фаза направляется в сборник 10, а частично очищенная эмульсия — в реактор 8. В нем жидкость обрабатывается коагулянтном, дозируемым из емкости 6, и перемешивается барботируемым воздухом. Затем раствор отстаивается, органическая часть поступает в отстойник 7, а водная фаза после нейтрализации известковым молоком (до $\text{pH} = 7-8$), дозируемым из емкости 5, либо поступает на повторное использование, либо сбрасывается в канализацию.

В отстойнике 7 осуществляется частичная регенерация коагулянта путем обработки органической фазы серной кислотой из емкости 4. Органическая часть сливается в емкость 10, а раствор коагулянта откачивается в емкость 6. Из емкости 10 органическая фаза направляется на утилизацию.

Примеры переработки отработанных водосмешиваемых эмульсионных СОЖ [12, 20]. 1. Отработанная эмульсия (РЗ-СОЖ 8, ИХП-45Э, ЭТ-2) из приемной емкости насосом подается в нефтеловушку, а оттуда в реактор подкисления, в котором обрабатывается поступающей из дозатора концентрированной серной кислотой (9,2 кг на 1 м^3 эмульсии) до $\text{pH} = 2-3$. Из реактора эмульсия насосом подается на флотатор. Образовавшаяся пена (масло и ПАВ) удаляется скребками и поступает в маслоловушку, а затем на регенерацию или сжигание. Водная фаза, пройдя нейтрализацию 20%-ным раствором кальцинированной соды (12 кг/м^3 эмульсии) до $\text{pH} = 5-6$, поступает в горизонтальный от-

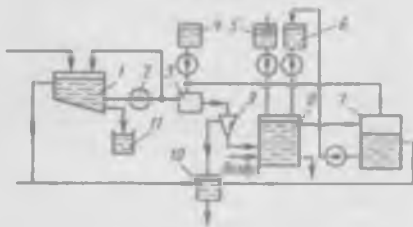


Рис. 1. Принципиальная схема установки очистки отработанных водных СОРС способом коагуляции [2, 12]

стойник. Содержание органических веществ в очищенной воде 100—150 мг/л. Водная фаза после разбавления сливается в канализацию.

2. Отработанная эмульсия (РЗ-СОЖ 8, ИХП-45Э, ЭГТ, ЭТ-2) из приемной емкости насосом подается в реактор, где обрабатывается серной кислотой (1—1,5 кг на 1 м³ эмульсии) до pH=6,8÷7 при температуре 70 °С, а затем глиноземом (7—10 кг на 1 м³ эмульсии) при интенсивном перемешивании (0,5—4 ч). Реакционная масса поступает в отстойник. Масляная фаза используется как добавка к топливу. Водная фаза, содержащая до 200 мг/л органических веществ, разбавляется водой и сливается в канализацию.

3. Отработанная эмульсия (РЗ-СОЖ 8, ИХП-45Э, ЭГТ, ЭТ-2) из приемной емкости насосом подается в реактор, где обрабатывается раствором медного купороса (300 кг на 1,5 м³ холодной воды) до pH=5÷6 при постоянном перемешивании. Разложенная масса обрабатывается 10%-ным раствором кальцинированной соды до pH=7,5÷8. Для ускорения осаждения в реактор подается 8%-ный раствор полиакриламида. Масса перемешивается в течение 1—2 мин; отстаивание—2—3 ч; отстоявшийся в реакторе осадок при постоянном перемешивании обрабатывается 76%-ным раствором серной кислоты до pH=3÷4. Выделенная органическая фаза используется в качестве компонента СОЖ. Водная фаза используется при приготовлении новой партии СОЖ.

4. Отработанная эмульсия (типа Укринол-1, с исходным содержанием масла 12—42 г/л) из прием-

ной емкости направляется в отстойник для удаления шлама и всплывшего масла. Затем поступает в смеситель, в котором обрабатывается серной или соляной кислотой до pH=8 при температуре 20—30 °С. Сюда же подается раствор сернокислого алюминия (3—10 кг на 1 м³ эмульсии). Отработанная вода направляется в напорный флотатор (насыщение воздухом в течение 5 мин при давлении 0,4—0,5 МПа). Всплывший шлам поступает в шламоборник, а оттуда на утилизацию либо на сжигание. Вода после флотатора с содержанием органических веществ 40—50 мг/л разбавляется и сбрасывается в канализацию либо на биологические очистные сооружения.

5. Отработанная эмульсия (Синтал-2) с исходным содержанием нефтепродуктов до 10 г/л, химической потребностью кислорода (ХПК), равной 120 гО₂/л из приемной емкости направляется в отстойник для удаления шлама и всплывшего масла. Затем эмульсия поступает в реактор, в котором обрабатывается серной кислотой до pH=3,5÷4,5. Сюда же подается коагулянт. Оптимальная доза коагулянта 1 г/л в пересчете на 100% Al₂(SO₄)₃. При обработке глиноземом (1,93 г/л) pH составляет 2,8—3,7. Отработанная эмульсия нейтрализуется карбонатом натрия (либо окисью кальция или исходной эмульсией) и расслаивается. Время расслаивания 2—5 мин. Очищенная вода с содержанием нефтепродуктов 19—30 мг/л, ХПК=5,5÷6,0 гО₂/л после разбавления в 10—12 раз направляется на биологические очистные сооружения. Кислотное разложение наименее эффективно. Так, для

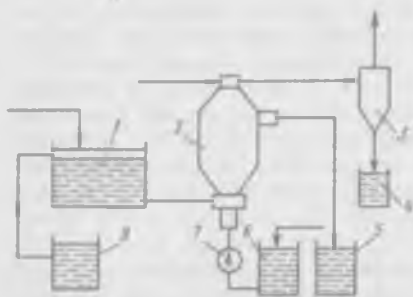


Рис. 2. Принципиальная схема установки очистки отработанных водных СОТС электрокоагуляцией:

1—приемная емкость; 2—электрокоагулятор; 3—циклон; 4—сборник шлама; 5—сборник очищенной воды; 6—сборник электролита; 7—насос; 8—сборник масла

эмульсионного СОТС Синтал-2 содержание нефтепродуктов снижается с 10 до 0,7 г/л; ХПК—со 120 до 2 гО₂/л; для Карбамола-Э1 соответственно с 22 до 2,6 г/л и со 180 до 10 гО₂/л.

Применение рассмотренных способов целесообразно лишь для эмульсионных СОЖ, для полусинтетических наблюдается незначительный эффект очистки, для синтетических—эффект вообще отсутствует. Последнее связано с наличием водорастворимых соединений, которые нельзя убрать коагуляцией или флотацией. К недостаткам способов относится также необходимость в реагентном хозяйстве и специальном оборудовании для приемки, приготовления и дозированной подачи кислоты и коагулянтов.

Электрокоагуляция. Перспективным способом разделения коллоидно-дисперсных систем является электрокоагуляция. На рис. 2 приведена принципиальная схема установки обезвреживания отработанных водных СОЖ этим способом [12, 16].

Процесс разделения происходит в колонном электрокоагуляторе 2 при смешении исходной СОЖ с потоком электролита (чистая техническая вода), подаваемым из сборника 6. В нижней части электрокоагулятора электролит предварительно насыщается гидрооксидом металла растворимых электродов. При этом происходит коалесценция частиц эмульгированного масла. Выделяющиеся при электролизе воды пузырьки водорода оказывают флотационный эффект, способствуя ускорению разделения фаз. Обычно степень разделения колеблется в зависимости от условий проведения процесса в диапазоне 80—95% потенциала. При переработке отработанной СОЖ Укринол-1 с концентрацией органической фазы 4,4—1,1% (мас. доля) достигалась степень разделения 83—99,9%.

Очищенная вода из аппарата 2 собирается в сборнике 5. Для снижения концентрации водородно-воздушной смеси ниже взрывоопасной в верхнюю часть электрокоагулятора подается воздух, количество которого определяется пределами взрывоопасных концентраций водорода, об. доля, %: нижний—4 и верхний—74.

К преимуществам способа следует отнести его универсальность, надежность эксплуатации, компактность, возможность полной автоматизации процесса, утилизацию разделенных фаз.

В Харьковском политехническом институте М. М. Назаряном и В. Т. Ефимовым с сотрудниками был выполнен комплекс исследований этого способа [16]. Ими показано, что особенно перспективны колонные электрокоагуляторы, совмещающие в одном

аппарате несколько стадий процесса: выработку электрогенерированного коагулянта с высокой сорбционной способностью, выделение газа на электродах, коагуляцию и электрофлотацию части загрязнений, удаление отходов и очищенной воды. Важным преимуществом таких аппаратов является высокая надежность работы вследствие отсутствия адсорбции веществ на поверхности растворимых электродов. Процесс происходит путем смешения отработанной водной СОЖ с восходящим потоком электролита, содержащим продукты растворения электрода.

Электрохимическая ячейка с растворимым электродом располагается соосно ниже камеры смешения. В отстойной камере аппарата организована дополнительная зона флотации, ограниченная с одной стороны системой нерастворимых перфорированных электродов, а с другой — кольцевой перегородкой. Такая конструкция улучшает процесс флотации в результате выделения газа на нерастворимых электродах. Подаваемый воздух интенсифицирует процесс удаления пены и разбавляет выделившийся водород до безопасных концентраций.

Окисление. В практике очистки сточных вод от органических загрязнений, в частности от ПАВ, широко применяются способы окисления. НИИНП «МАСМА» были проведены исследования очистки отработанной СОЖ Ук-ринол-1 с использованием хлора, гипохлорита натрия, перекиси водорода и озона [7]. Более приемлемым оказалось применение озона, вследствие большой окислительной способности которого уже при нормальной температуре

происходит разрушение органических веществ, находящихся в отработанной СОЖ. В процессе озонирования одновременно происходит окисление примесей, дезодорация и обеззараживание сточной воды. Полного окисления органических соединений достичь не удалось. Можно предположить, что оставшаяся органика представлена кислотами, которые в разбавленных растворах плохо окисляются даже озоном.

Сотрудниками Харьковского политехнического института проведены исследования по озонированию сточных вод, содержащих СОЖ, до и после электрокоагуляции [17]. ХПК исходных проб изменялась в диапазоне от 0,18 до 10 г O_2 /л, содержание озона в воздухе — 21—97 мг/л. При 5—10-минутной обработке озоном ХПК сточной воды, содержащей отработанные СОЖ, снижалась на 20—30%, а воды после электрокоагуляционной установки — на 30—40%. Анализ показывает, что в процессах обезвреживания отработанных водных СОЖ озонирование целесообразно применять лишь для доочистки (например, после коагуляции, флотации, электрокоагуляции).

Мембранная технология. Сведения об успешном применении мембранной технологии [6, 18], в том числе и для очистки отработанных СОЖ изложены в работах [9, 12, 15].

Принципиальная схема установки для разложения эмульсии ультрафильтрацией приведена на рис. 3. Отработанная эмульсия из приемной емкости 1 насосом 8 через напорный фильтр 7 и магнитный фильтр 6 подается в мембранный аппарат 4. Фильтрат (водная фаза) непрерывно отводится

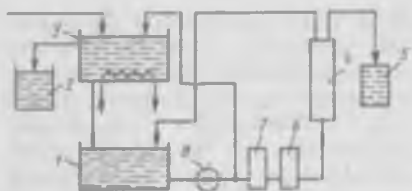


Рис. 3. Принципиальная схема установки очистки отработанной СОЖ ультрафильтрацией [9, 12]

из установки в емкость 5, а масляный концентрат направляется в емкость 1. В конце процесса разделения с помощью вентилей прекрывается подача эмульсии в аппарат 4 и оставшийся концентрат перекачивается насосом 8 в разделительную емкость 3, оборудованную паровым регистром, где расслаивается на органическую и водную фазы. Органическая часть накапливается в сборнике 2, а вода сливается в емкость 1 и вместе с новой порцией отработанной эмульсии направляется на разделение.

Важным вопросом является возможность использования полученного фильтрата для технологических целей производства, в частности для приготовления новой партии СОЖ. Например, экспериментально установлено, что для приготовления СОЖ (Ук-ринол-1, Аквол-11) пригоден фильтрат с ХПК до $1 \text{ г О}_2/\text{л}$. Очистка с помощью полупроницаемых мембран обеспечивает извлечение из отработанных СОЖ до 90% воды.

Мембранные способы имеют свои положительные и отрицательные стороны. Их преимущества: разделение жидкой смеси происходит без фазовых превращений, что вызывает низкие затраты энергии, которая расходуется

в основном на создание давления исходного раствора; процесс протекает при температурах, близких к температуре окружающей среды, что особенно важно для разделения смесей, компоненты которых могут разлагаться, разрушаться или полимеризоваться при высоких температурах, свойственных традиционным термическим способам. Существенным образом снижается мутность и цветность воды; площадь, занимаемая установками, намного меньше площади сооружений механической, химической и биологической очистки; установки компактные, легко поддаются автоматизации, просты в конструкции и надежны в эксплуатации.

К недостаткам мембранных процессов следует отнести необходимость предварительной подготовки раствора. Обязательной является очистка от дисперсных частиц размером до 20 мкм, ограничено содержание железа и солей жесткости; для соблюдения требуемого значения pH необходимо подкисление либо подщелачивание раствора; для ацетилцеллюлозных мембран содержание хлора не должно превышать 1 мг/л . Чтобы обеспечить все эти требования применяют различные методы очистки, в том числе фильтрование, флотацию, коагуляцию, адсорбцию, ионный обмен. Кроме того, в пограничном слое у поверхности мембраны возрастает концентрация растворенного вещества (концентрационная поляризация), при этом снижается движущая сила процесса и, как следствие, уменьшаются проницаемость и селективность мембраны. Концентрационная поляризация способствует возникновению условий для осаждения на

поверхности мембраны слаборастворимых солей, высокомолекулярных органических соединений, закупоривающих поры, снижающих ее эффективность. Для уменьшения воздействия этих факторов следует организовать турбулизацию потока над мембраной.

Известно, что водные СОЖ подвержены микробиологическому поражению, во избежание чего рекомендуется применение бактерицидов. Хорошая задержка бактерий мембранами является еще одним положительным качеством этой технологии [6, 18].

Экономическая эффективность мембранных способов очистки определяется капитальными вложениями и эксплуатационными затратами на установку. Весьма существенную долю капиталовложений составляют мембраны и мембранные аппараты (до 40%), что объясняется высокой стоимостью полупроницаемых мембран. Остальные составляющие капиталовложений: стоимость оборудования, арматуры, трубопроводов, электрооборудования, контрольно-измерительных приборов и автоматики, зданий и др. Оборудование и трубопроводы выполняются из дорогостоящих коррозионно-стойких сталей. Несомненно, что в будущем широкое применение разного рода полимерных материалов для специальных покрытий трубопроводов и емкостей позволит снизить капиталовложения в установки ультрафильтрации.

2. ТЕРМИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ

Огневое обезвреживание. Принципиальная схема установки ог-

невого обезвреживания представлена на рис. 4. Отрабатанная СОЖ закачивается в емкость 1, оборудованную паровым регистром. С помощью насоса 4 можно осуществить интенсивное перемешивание эмульсии и предварительный подогрев до 90—95 °С. Эмульсия, пройдя фильтры 2, 3 грубой и тонкой очистки, подается в теплообменник 5, где нагревается водяным паром до температуры 120—130 °С, после чего направляется на форсунки 6 распылительного устройства для сжигания либо в топке котла, либо в печи. Работу узла сжигания можно осуществить на различных видах топлива: газообразном, жидком либо комбинированном. Количество перерабатываемой эмульсии ограничено в связи с тем, что при увеличении влагосодержания понижается температура точки росы отходящих дымовых газов и возрастает их коррозионная агрессивность. Для котлоагрегатов типа ДКВР 10/13 при работе на мазуте указанным способом можно обезвредить до 150 л/ч, а при работе на газообразном топливе — до 400 л/ч эмульсии.

Способ огневого обезвреживания базируется на опыте сжигания обводненных мазутов с влажностью до 30% [3, 8]. Микровзрывы каплей эмульсии вызывают дополнительное (внутритопочное) дробление каплей, обеспечивая

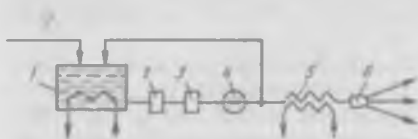


Рис. 4. Принципиальная схема установки огневого обезвреживания отработанных СОЖ [12]

интенсивное перемешивание горячего с окислителем, и увеличение поверхности контакта. При этом уменьшается химический недожог жидкого топлива и, как следствие, несколько повышается коэффициент полезного действия котлоагрегата.

Однако этот способ имеет и недостатки: применять его нельзя для эмульсий, содержащих хлор, фосфор и т. п., вследствие загрязнения атмосферного воздуха. Наличие серы в составе органической части не является препятствием для сжигания, так как в процентном отношении ее меньше, чем в используемых мазутах. Химический анализ дымовых газов на полноту сгорания и присутствие токсигенов показал вполне удовлетворительные результаты. Из опыта эксплуатации котлоагрегатов следует, что температура уходящих газов должна превышать температуру точки росы на $10\text{--}15^\circ\text{C}$ [3, 8]. Сжигание эмульсии можно осуществлять и в камерных печах [26].

Основной недостаток всех способов огневого обезвреживания — безвозвратная потеря воды и дополнительный расход топлива. В работах [23, 26] рекомендуемый верхний предел производительности по обезвреживаемым стокам оценивается в $5\text{--}7\text{ м}^3/\text{ч}$.

При сжигании топлива образуются окислы азота, загрязняющие

атмосферу. Способы сокращения этих выбросов различны: рециркуляция дымовых газов в ядро горения; двухступенчатое сжигание; сжигание с пониженным избытком воздуха; применение специальных конструкций горелочных устройств и ввод в топочную камеру водяного пара, воды. Ввод последних в тракт горячего воздуха газомазутных котлов в количестве $1,5\text{--}2\%$ номинальной паропроизводительности приводит к сокращению выбросов окислов азота на $20\text{--}25\%$ [5]. Сжигание отработанных водных СОЖ в топках котлоагрегатов дает такой же эффект [25]. Отмечено снижение выбросов окислов азота на $40\text{--}55\%$, сажи и бенз-а-пирена на $70\text{--}80\%$.

Упаривание. С целью повторного использования водной и органической части эмульсии процесс переработки последней ведут в обычных выпарных аппаратах. Принципиальная схема одной из установок приведена на рис. 5. Отработанная СОЖ после отстаивания в емкости 1 и отделения масла в маслосборник 10 подается через фильтры 2, 3 грубой и тонкой очистки насосом 4 в греющую камеру 5 выпарного аппарата, а оттуда в корпус сепаратора 6. Вода испаряется, водяной пар конденсируется в холодильнике-конденсаторе 7. Образовавшийся конденсат накапливается в емкости 8. Масляный концентрат отводится в сборник органической фазы 9. При этом, как показали исследования Г. А. Крауского и других, при увеличении органической фазы в составе СОЖ с 3 до 80% (мас. доля) коэффициент теплоотдачи от стенки подогревателя к эмульсии практически не меняется и про-

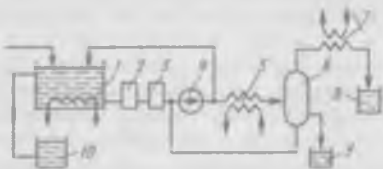


Рис. 5. Принципиальная схема установки упаривания отработанных СОЖ [12]

цесс упаривания можно вести в обычных выпарных аппаратах. Для полного обезвоживания органической фазы необходимо довести ее температуру до 120—130 °С при атмосферном давлении [12], что вызвано возможной задержкой кипения, влиянием сил поверхностного натяжения и кривизны поверхности раздела фаз на давление в пузырьке.

Снизить энергозатраты на упаривание можно, используя для этих целей многокорпусные выпарные установки. Греющая камера первого корпуса обогревается паром ТЭЦ или заводской котельной, а образовавшийся выпар поступает на конденсацию в греющую камеру второго аппарата, нагревая циркулирующий раствор и т. д. Проведение многократного выпаривания снижает удельный расход греющего пара, а следовательно, и топлива [10].

Наличие органики в водяном паре не является препятствием для его использования в качестве теплоносителя [10]. Полученный на установке пар можно использовать и для подогрева воды контактным способом при приготовлении свежей партии СОЖ. Конденсация струи пара осуществляется непосредственно в объеме жидкости, что исключает необходимость в металлических поверхностях теплообмена. Глубина проникновения паровой струи в интервале изменения температурного напора 3—20 °С составляет 20—23 калибра сопла [11].

Основные преимущества способа упаривания отработанных водных СОЖ: отсутствие нестандартного оборудования, исключение потребности в химических реагентах, полезное использование водной фазы, возможность использо-

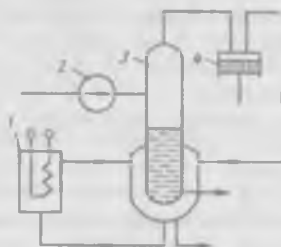


Рис. 6. Принципиальная схема термокомпрессионной установки упаривания отработанных СОЖ [12]

вания органической фазы не только в качестве добавки к жидкому топливу, но и как 20—30%-ную добавку к приготовляемой свежей СОЖ.

В США разработана термокомпрессионная передвижная установка производительностью до 95 м³/сут (рис. 6). Основным элементом установки — одноступенчатый ротационный лопастный компрессор 4. Отработанная СОЖ подается насосом 2 в выпарной аппарат 3. Для пуска используется электрический генератор пара 1 производительностью до 180 кг/ч. Образовавшийся вторичный пар сжимается в компрессоре 4 и подается в греющую камеру аппарата 3. Расход энергии на испарение 4,5 т воды/ч — около 100 кВт·ч. Продуктами переработки являются концентрат масла и конденсат водяного пара [12].

3. БИОХИМИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ОЧИСТКИ

На металлообрабатывающих и машиностроительных заводах получила определенное распространение аэробная очистка, проводимая в *азротенках* или *биофильтрах*. Аэробный биохимический распад веществ осуществляется

с помощью микроорганизмов, нуждающихся в свободном кислороде из воздуха, либо в кислороде, растворенном в воде [4]. Применение способа предъявляет определенные требования к перерабатываемым СОЖ, в первую очередь, в отношении ядовитых веществ, например солей тяжелых металлов. Превышение допустимых концентраций токсикогенов ведет к гибели микробных клеток и к выводу из строя очистных сооружений. Допустимая концентрация примесей достигается путем разбавления отработанных СОЖ общезаводским стоком. Для поддержания оптимальных условий очистки необходимо доведение рН сточной воды до 6,8—7,2, что достигается, как правило, нейтрализацией стоков известковым молоком. Содержание взвешенных веществ не должно превышать 150 г/м³. Последние удаляются в отстойниках или гидроциклонах.

Для создания протоплазмы клетке нужны биогенные элементы — углерод, водород, кислород, азот, фосфор, калий и различные микроэлементы. Многие из них бактериальная клетка может почерпнуть из органических загрязнений сточной воды, а недостающие биогенные элементы (чаще всего азот и фосфор) добавляются в очищаемую воду в виде солей. Высокая эффективность аэробной очистки объясняется большим количеством микроорганизмов, скоростью их размножения и активностью.

В аэротенках отработанная СОЖ перемешивается воздухом (кислородом), а комплекс развивающихся микроорганизмов об-

разует оседающие хлопья (активный ил). В биофильтрах аэрируемые стоки фильтруются через загрузку щебня, поверхность которого обрастает биологической пленкой — микроорганизмами. Преимущества аэротенков: меньшая площадь по сравнению с биофильтрами; возможность подачи более концентрированных стоков с большей токсичностью; легче осуществлять контроль за содержанием растворенного кислорода, рН и температурой среды; меньшие капиталовложения. Недостатки: громоздкость (перегрузка сооружения осложняет эксплуатацию); трудности в использовании избыточного активного ила; более высокие, чем при эксплуатации биофильтров, эксплуатационные расходы. Основное преимущество биофильтров — простота эксплуатации, и при небольшом количестве слабозагрязненных стоков их использование целесообразно. Главный показатель качества очистки — биологическое и химическое потребление кислорода (БПК). БПК₂₀ должно быть 2—3 гО₂/м³, а отношение БПК к ХПК — больше 0,75. Индекс 20 означает количество суток, после которых определяется показатель. Недостатки биохимической очистки: невозможность утилизации компонентов СОЖ и громоздкость очистных сооружений. Поэтому биологические очистные сооружения строятся по региональному принципу, обслуживая несколько предприятий данного региона. Производительность типовых биологических очистных сооружений 0,9—250 тыс. м³/сут [19].

4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТРАБОТАННЫХ СОЖ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В производстве строительных керамических материалов в качестве корректирующих добавок, регулирующих свойства исходного сырья и готовой продукции, применяются отходы нефтехимических предприятий (нефтешлам, активный ил, битумы и др.), а также отработанные СОЖ [14, 21, 24].

Основные направления их использования: введение в состав сырьевой массы, нанесение в виде пленок на поверхность сырого изделия, производство пористой керамики. Введение отходов в состав сырьевой массы обеспечивает повышение ее пластичности, снижение формовочной влажности и усадки, увеличивает выход бездефектного кирпича, улучшает качество готовой продукции. Все это, в конечном счете, приводит к снижению энергоемкости процессов формовки, сушки и обжига. Нанесение влагозащитных пленок на кирпич-сырец ослабляет его чувствительность к сушке, повышает равномерность усадки и трещиностойкость, а следовательно, и качество изделия. В производстве пористых заполнителей (керамзит, перлит) использование добавок сокращает расход топлива, повышает коэффициент вспучивания и снижает насыпную плотность.

Использование отработанных СОЖ в строительной промышленности исключает организацию их переработки на машиностроительных заводах. За последними остается лишь сбор и доставка СОЖ на предприятия строитель-

ной керамики, причем один кирпичный завод может использовать отработанные СОЖ целого промышленного региона.

5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СПОСОБОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАННЫХ ВОДОСМЕШИВАЕМЫХ СОЖ

Анализ имеющихся сведений [12, 20] позволяет провести экспертную оценку различных способов локальной переработки отработанных водосмешиваемых СОЖ. При этом необходим учет долевого участия следующих основных факторов: капиталовложений в установку, потребности в производственной площади, производственных затратах, затрат на обслуживание, универсальности способа по отношению к различным типам СОЖ, потребности в последующей доочистке, возможности утилизации компонентов. В табл. 2 приведены результаты такой оценки в пятибалльной системе по каждому показателю. Утилизация органической фазы (сжигание в качестве топлива) возможна во всех рассмотренных способах, а ее регенерацию (использование в качестве компонента СОЖ) можно осуществить лишь упариванием и с помощью мембранной технологии.

Наиболее перспективными направлениями в переработке отработанных СОЖ являются их использование на предприятиях строительной индустрии (при низкой стоимости компонентов СОЖ) и регенерация дорогостоящих компонентов. Каждый из данных способов имеет свои преимущества и недостатки. Так, ор-

2. Технико-экономическая оценка способов переработки отработанных СОЖ (по пятибалльной системе) [12, 20]

Способ	Капитало- вложения	Потребность в произ- водствен- ной пло- щади	Производ- ственные затраты	Затраты на обслу- живание
Использование отработанных эмульсий на предприятиях строительной промышленности	5	5	4	5
Ультрафильтрация и обратный осмос	3	4	3	4
Термические способы:				
огневой	4	4	4	4
упаривание	3	3	3	3
Физико-химические способы (коагуляция, электрокоагуляция, флотация)	3	3	2	2

Способ	Зависимость эффективности от типа СОЖ	Необходи- мость до- очистки	Регене- рация воды	Сумма баллов
Использование отработанных эмульсий на предприятиях строительной промышленности	5	5	5*	34
Ультрафильтрация и обратный осмос	5	5	5	29
Термические способы:				
огневой	5	5	1	27
упаривание	5	5	5	27
Физико-химические способы (коагуляция, электрокоагуляция, флотация)	2	1	1	14

* Вода используется на предприятиях строительной промышленности.

ганизация процесса переработки отработанных СОЖ на кирпичных заводах позволит создать региональные центры утилизации, исключив строительство и эксплуатацию мелких малоэффективных локальных установок на многочисленных металлообрабатывающих предприятиях.

Извлечение ценных компонентов из отработанных СОЖ и ис-

пользование их в качестве добавки при приготовлении свежих СОЖ снизит на 20—30% [2, 20] затраты на приобретение дорогостоящих СОТС. Полученный при этом экономический эффект существенно превысит эффект от простого сжигания органической фазы, так как стоимость компонентов СОЖ в среднем на 1—1,5 порядка (а для некоторых и на

3. Области применения утилизируемых волюсмешиваемых СОЖ

Утилизируемый продукт	Область применения
Органическая фаза эмульсии	Топливо для котельных и ТЭЦ. Закалочные среды. Технологические смазочные материалы в литейном производстве и при обработке давлением. Основа для изготовления грунтовок, красок, мастик и полирующих составов. Консервация металлов. Добавка к битумам, улучшающая качество асфальтобетонных покрытий. Сырье для обмывания металлургических порошков в сталелитейном производстве. Сырье для производства пористых строительных материалов. Смазочные материалы для форм в производстве сборного железобетона. Составы для пропитки древесины
Отработанные эмульсии	Компоненты моющих составов
Отработанные эмульсии, синтетические и полусинтетические СОЖ	Компоненты строительных растворов
Полусинтетические и синтетические СОЖ	Добавки к строительным материалам
Шламы и осадок после обезвреживания	

два) выше стоимости жидкого топлива.

В табл. 3 приведены возможные области применения утилизируемых СОЖ [2, 12].

Список литературы

1. Ансеров Ю. М., Дурнев В. Д. Машиностроение и охрана окружающей среды. Л.: Машиностроение, 1979. 224 с.
2. Бердичевский Е. Г. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки материалов: Справочник. М.: Машиностроение, 1985. 224 с.
3. Воликов А. Н., Абрамов А. К. Водоматутные эмульсии — эффективное топливо для отопительных котельных // Водоснабжение и санитарная техника. 1983. № 10. С. 29—21.
4. Вольф И. В., Ткаченко Н. И. Химия и микробиология природных сто-

чных вод. Л.: Изд-во ЛГУ, 1973. 238 с.

5. Гаврилов А. Ф., Горбаченко А. Д., Туркестанова Е. Л. Влияние влаги, вводимой в горячий воздух, на содержание окислов азота в продуктах сгорания газа и мазута // Теплоэнергетика. 1983. № 9. С. 13—15.

6. Дыгнерский Ю. И. Мембранные процессы разделения жидких смесей. М.: Химия, 1975. 232 с.

7. Енаки Г. А., Ткаченко В. М. Доочистка отработанной СОЖ Укринаол-1 путем окисления // Повышение качества смазочных материалов и эффективности их применения. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1977. С. 122—129.

8. Иванов В. И., Канторович Б. В. Топливные эмульсии и суспензии. М.: Металлургиздат, 1963. 183 с.

9. Карнаух Г. С., Костюк В. И. Утилизация сточных вод методом обратного осмоса. Киев: Наукова думка, 1962. 32 с.

10. Костюк В. И. Бессточное нефтеперерабатывающее производство. Киев: Техника, 1979. 123 с.
11. Костюк В. И. О механизме процесса конденсации струи пара в объеме жидкости // Теплоэнергетика. 1985. № 12. С. 34—37.
12. Костюк В. И., Карнаух Г. С. Очистка сточных вод машиностроительных предприятий. Киев: Техника, 1990. 120 с.
13. Ласкорин Б. Н. Создание технологических процессов, исключаящих вредное воздействие промышленности на биосферу // Водные ресурсы. 1973. № 5. С. 5—16.
14. Луидина М. Г. Добавки в шихту при производстве керамических стеновых материалов и пористых заполнителей // Обзорная инф. Сер. 4. Промышленность керамических стеновых материалов и пористых заполнителей. М.: ВНИИЭСМ, 1974. С. 5—30.
15. Мэн С. К., Шелегина Т. Г., Парвов А. В. Очистка маслоэмульсионных сточных вод станом холодной прокатки методом ультрафильтрации // Сталь. 1986. № 11. С. 104—108.
16. Назарян М. М., Ефимов В. Т. Электрокоагуляторы для очистки промышленных стоков. Харьков: Вища школа, 1983. 144 с.
17. Назарян М. М., Шамша Л. Ф., Щенилов Н. С. Исследование процесса озонирования отработанных смазочно-охлаждающих жидкостей машиностроительных заводов // Вест. Харьк. политех. ин-та. Сер. Хим. машиностроение. 1980. Вып. 10. № 17. С. 47—51.
18. Обработка воды обратным осмосом и ультрафильтрацией / А. А. Ясминов, А. К. Орлов, Ф. Н. Карелин, Я. Д. Раппопорт. М.: Стройиздат, 1987. 128 с.
19. Система оборотного водоснабжения и локальные методы очистки вод / А. Н. Семин, В. П. Ким, К. А. Гайдуков и др. М.: НИИТЭхим, 1978. 36 с.
20. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: Справочник / Под ред. С. Г. Энтелеса, Э. М. Берлинера. М.: Машиностроение, 1986. 352 с.
21. Совершенствование производства керамзита / В. П. Петров, Б. В. Скиба, В. М. Красавин и др. М.: ВНИИЭСМ, 1985. 38 с.
22. Худобин Л. В., Бердичевский Е. Г. Техника применения смазочно-охлаждающих средств в металлообработке. М.: Машиностроение, 1977. 189 с.
23. Шурыги А. П., Бериардинер М. Н. Огневое обезвреживание промышленных сточных вод. Киев: Техника, 1976. 200 с.
24. Шюня Э. В., Шулькус А. А. Исследование утилизации отработанной смазочно-охлаждающей эмульсии. Очистка и использование сточных вод. Вильнюс: Стройиздат, 1986. С. 31—33.
25. Юсуфова В. Д., Гарзанов А. Л. Повышение эффективности использования водотопливных эмульсий на ТЭС с целью уменьшения вредных выбросов в атмосферу с утилизацией нефтесодержащих сточных вод / мало- и безотходная технология в энергетике как средство защиты окружающей среды и повышение эффективности топливоиспользования. Материалы Всесоюзного совещания. Москва, октябрь 1984. Ч. 2. М., 1985. С. 175—185.
26. Ясиновский А. А. Оборудование термического обезвреживания промышленных стоков. М.: Машиностроение, 1972. 185 с.

Глава XII. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СОТС

Использование новых СОТС и новой техники, их применения на металлорежущем оборудовании, как правило, влечет за собой дополнительные затраты. Однако их внедрение чаще всего оказывается экономически оправданным вследствие повышения стойкости режущего инструмента, повышения производительности оборудования, улучшения качества продукции, снижения затрат на эксплуатацию СОТС, ремонт и содержание оборудования и других источников экономики.

Ниже приведена методика расчета экономической эффективности внедрения СОТС и техники их применения, разработанная на основе действующих методик и инструкций по определению экономической эффективности внедрения новой техники.

Годовой экономический эффект $\mathcal{E}$ (руб/год) определяется по разности приведенных затрат с учетом возможного улучшения потребительских свойств изделий, изготовленных с применением новых СОТС, по формулам:

при внедрении новых составов СОТС

$$\mathcal{E} = \left[3_1 \frac{y_1}{y_2} + \right.$$

$$\left. + \frac{(u'_1 - u'_2) - E_n(k'_2 - k'_1) + \mathcal{E}_{см}}{y_2} - 3_2 \right] V_2, \quad (1)$$

или

$$\mathcal{E} = \left(3_1 \frac{y_1}{y_2} - 3_2 \right) V_2 - (U'_1 - U'_2) - E_n(K'_2 - K'_1) + \mathcal{E}_{см}; \quad (1a)$$

при внедрении новой техники применения СОТС

$$\mathcal{E} = \left[3_1 \frac{B_2 P_1 + E_n}{B_1 P_2 + E_n} + \frac{(U'_1 - U'_2) - E_n(K'_2 - K'_1)}{P_2 + E_n} - 3_2 \right] A_2 + \mathcal{E}_{см}. \quad (2)$$

Здесь 3 — приведенные затраты на 1 т СОЖ, руб/т, или на единицу техники применения СОЖ, руб/шт., соответственно; y — удельный расход СОЖ на единицу продукции, выпускаемой потребителем СОЖ, т/шт.; u' — затраты на единицу продукции, выпускаемой потребителем СОЖ, без учета стоимости СОЖ, руб/шт.; U' — годовые эксплуатационные затраты потребителя в расчете на объем продукции, произ-

водимой с помощью новой СОЖ или новой техники применения СОЖ (в этих затратах учитывается только часть амортизации, предназначенная на капитальный ремонт техники применения СОЖ, т. е. без учета средств на ее реновацию, а также амортизационные отчисления по сопутствующим капитальным вложениям потребителя техники применения СОЖ; при внедрении новых СОЖ в этих затратах не учитывается стоимость СОЖ); k' — сопутствующие удельные капитальные вложения потребителя в расчете на единицу продукции, производимой с применением СОЖ, руб./шт.; K' — сопутствующие капитальные вложения потребителя при использовании СОЖ в расчете на объем продукции, производимой с применением новой СОЖ или новой техники ее применения, руб. (при внедрении новой техники применения СОЖ здесь не учитывается стоимость этой техники); $E_m = 0,15$ — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; $\varepsilon_{см}$ — удельная экономия в смежной сфере (в сфере использования оборудования, машин, детали которых проходят обработку при помощи новых СОЖ, или техники их применения), учитывающая улучшение качества (потребительских свойств) изделий, руб./шт.; $\varepsilon_{см}$ — годовой экономический эффект в смежной сфере, учитывающий улучшение качества (потребительских свойств) изделий, руб.; V_2 — годовой объем применения (или производства) новых СОЖ в расчетном году, т; B_2/B_1 — коэффициент учета роста производительности металлорежущего оборудования при использовании новой техники применения СОЖ

(B — годовой объем продукции, производимой при использовании единицы сравниваемых СОЖ или техники применения СОЖ, шт.);

$\frac{P_1 + E_m}{P_2 + E_m}$ — коэффициент учета изме-

нения срока службы новой техники применения СОЖ по сравнению со старой [P — доля отчислений от балансовой стоимости на полное восстановление (реновацию) техники применения СОЖ (рассчитывается как величина, обратная сроку службы техники применения СОЖ, определяемому с учетом ее морального износа)]; A_2 — годовой объем производства новой техники применения СОЖ, ед.

Индексы 1 и 2 отнесены к символам, соответствующим показателям при работе до и после внедрения. В качестве приведенных затрат $З$ при расчете экономического эффекта у потребителя может быть принята стоимость соответственно 1 т СОЖ или 1 ед. техники применения СОЖ. Расчет экономического эффекта проводится на основании сравнительных данных об основных (технологических) и сопутствующих эксплуатационных свойствах СОЖ, определенных в конкретных условиях предприятия при обработке деталей-представителей, которые по своим основным геометрическим и технологическим параметрам соответствуют наиболее массовой продукции предприятия. Эти детали должны составлять не менее 70—80% общего объема всех деталей, которые могут обрабатываться на данных станках.

Разность годовых эксплуатационных затрат (руб) потребителя в расчете на объем продукции при внедрении новых СОЖ обус-

довлена различной величиной технологической составляющей себестоимости изготовления продукции за счет более высоких показателей новых СОЖ:

$$\mathcal{E} = U_1 - U_2 = \mathcal{E}_n + \mathcal{E}_n + \mathcal{E}_n + \mathcal{E}_n + \mathcal{E}_{\text{доп}} - \mathcal{Z}_n \quad (3)$$

где $\mathcal{E}_n$ — годовая экономия вследствие уменьшения затрат на режущий инструмент; $\mathcal{E}_n$ — годовая экономия в результате повышения производительности оборудования; $\mathcal{E}_n$ — годовая экономия, учитывающая улучшение качества изделий (улучшение шероховатости, снижение брака), обработанных с использованием новых СОЖ или новой техники их применения; $\mathcal{E}_n$ — годовая экономия за счет прочих факторов, связанных с лучшими сопутствующими эксплуатационными свойствами новых СОЖ; $\mathcal{E}_{\text{доп}}$ — годовая экономия за счет других источников; $\mathcal{Z}_n$ — дополнительные годовые эксплуатационные затраты, связанные с использованием новой СОЖ.

В условиях серийного производства расчет годового экономического эффекта проводится путем пересчета экономического эффекта, рассчитанного на программу деталей, по формуле

$$\mathcal{E}' = \frac{\mathcal{E} \Phi_{\text{д}} K_1}{t_{\text{пр}}} \quad (4)$$

где $\mathcal{E}'$ — экономический эффект от внедрения новых СОЖ, рассчитанный по формуле, аналогичной (3), на программу деталей, руб.; $t_{\text{пр}}$ — время, необходимое для изготовления заданной программы деталей, ч; $\Phi_{\text{д}}$ — эффективный годовой фонд времени работы оборудования при двухсменном режиме, ч; K_1 — коэффициент загрузки оборудования.

Если внедрение СОЖ повышает стойкость инструментов или увеличивает число допустимых переточек, то достигается снижение затрат на режущий инструмент и соответствующая экономия на режущем инструменте может быть определена по формуле

$$\mathcal{E}_n = \mathcal{Z}_n \frac{B_2}{B_1} \left(1 + K_1 - \frac{1 - K_1}{K_n} \right), \quad (5)$$

где $\mathcal{Z}_n$ — затраты на приобретение или изготовление инструмента при работе со старой СОЖ, руб/

год; $K_n = \frac{K_{\text{пер}} + 1}{K_{\text{пер}} + 1}$ — коэффициент изменения расхода режущего инструмента; $K_{\text{пер}}$ — среднее число переточек, выдерживаемое инструментом до полного износа;

$K_1 = \frac{T_2}{T_1}$ — коэффициент увеличения стойкости режущих инструментов при работе с новой СОЖ; T — стойкость инструмента*, определяемая количеством обработанных деталей;

$$K_1 = \frac{C_{\text{пер}} K_{\text{пер}} - C_n}{C_n}$$

Здесь K_1 — коэффициент эксплуатационных расходов на режущий инструмент; $C_{\text{пер}}$ — стоимость одной переточки инструмента, руб.; C_n — стоимость лома инструмента, руб.; C_n — стоимость нового инструмента, руб.

Если применение новых СОЖ не влияет на износ и характер изнашивания затупившегося инструмента и, следовательно, на толщину слоя, снимаемого при переточке инструмента, а также не

* В условиях автоматизированного производства в расчетах следует учитывать не среднюю, а гарантированную стойкость инструментов

влияет на причины потери режущих свойств инструментов (нормальное истирание, поломки, выкрашивания, сколы), будут справедливы равенства $K_{пер,1} = K_{пер,2}$; $K_p = K_s$; $K_n = K_T$. Тогда уравнение (5) примет вид:

$$\Xi_n = \Xi_n \frac{B_2}{B_1} (1 + K_s) \left(1 - \frac{1}{K_T}\right).$$

Если внедрение новых СОЖ снижает машинное время t_m , время на замену инструмента t_n или вспомогательное время $t_{шт}$, необходимое для замены СОЖ, то достигается повышение производительности работы оборудования и соответствующую экономию можно определить по формуле

$$\Xi_n = \sum_L \frac{C_{об}(t_{шт,1} - t_{шт,2}) B_2}{60},$$

где $C_{об}$ — себестоимость 1 ч работы оборудования (станка) за вычетом затрат на силовую энергию, режущий инструмент и СОЖ, руб/ч; L — число станков.

Экономия времени, затрачиваемого на изготовление продукции $\Delta t_{шт}$, выражается разностью в штучном времени $t_{шт}$, на операциях, мин:

$$\Delta t_{шт} = t_{шт,1} - t_{шт,2} = (t_{m,1} - t_{m,2}) + (t_{n,1} - t_{n,2}) + (t_{с,1} - t_{с,2}).$$

Здесь t_m — машинное время операции, мин ($t_{m,2} = t_{m,1}/K_p$); t_n — время на замену затупившегося инструмента, отнесенное к одной операции, мин ($t_{n,2} = t_{n,1}/K_T$); $K_p = K_s$, K_s, K_T — коэффициент интенсификации режимов резания при работе с новой СОЖ ($K_p = v_2/v_1$; $K_s = s_2/s_1$; $K_T = t_2/t_1$ — соответственно коэффициенты повышения

скорости резания, подачи и глубины резания).

Разность во вспомогательном времени t_n связана с различным временем, необходимым для замены отработанных СОЖ:

$$t_{n,1} - t_{n,2} = n_1 t_{сож,1} - n_2 t_{сож,2},$$

где $n_2 = 12/T_{сож}$ — число замен жидкости в год; $T_{сож}$ — технологическая стойкость СОЖ, мес; $t_{сож}$ — время на замену жидкости в системе охлаждения станка, мин.

Если в расчете использовать годовой фонд времени работы оборудования (это удобно в укрупненных расчетах), то

$$\Xi_n = \sum_L \frac{C_{об} \Phi_{об} K_n K_{нн} B_1}{100},$$

где $\Phi_{об}$ — эффективный годовой фонд времени работы оборудования при двухсменном режиме, ч; K_n — коэффициент загрузки оборудования; $K_{нн}$ — коэффициент выполнения норм; B_1 — повышение производительности работы оборудования, %.

Величина $C_{об}$ может быть рассчитана по формуле

$$C_{об} = \Xi_n + \Xi_{уп},$$

где

$$\Xi_n = \Xi_{осн} \left[\frac{1 + \Xi_{доп}}{K_{осн}} + \frac{K_{доп}}{100} + \left(1 + \frac{K_{доп}}{100}\right) \frac{K_{доп}}{100} \right] -$$

часовая заработная плата основных рабочих, руб; $\Xi_{осн}$ — часовая тарифная ставка основного рабочего, руб/ч; $K_{осн}$ — коэффициент многостаночного обслуживания; $\Xi_{доп}$ — доплаты за многостаночное обслуживание, руб/ч; $K_{доп}$ — дополнительная заработная плата ос-

нового рабочего, %; $K_{с.с.}$ — отчисления на социальное страхование, %; $З_{yn}$ — условно-постоянная часть расходов в себестоимости продукции, руб./ч.

Повышение, %, производительности B_1 может быть рассчитано по следующим формулам:

$$B_1 = \frac{t_{мт1} - t_{мт2}}{t_{мт1}} 100; \quad B_1 = \frac{B_2 - B_1}{B_2} 100;$$

$$B_1 = \frac{K_{t_{м1}} \left(1 - \frac{1}{K_p}\right) + K_{t_{м1}} \left(1 - \frac{1}{K_T}\right) + 1 - K_{t_{м1}} \left(1 - \frac{1}{K_p}\right) - K_{t_{м1}} \left(1 - \frac{1}{K_T}\right) - K_{с.с.ож1} \left(1 - \frac{1}{K_{с.с.ож}}\right) - K_{с.с.ож1} \left(1 - \frac{1}{K_{с.с.ож}}\right)}{100},$$

где $K_t = t_{м1}/t_{м2}$ — коэффициент машинного времени; $K_{t_{м1}} = t_{м1}/t_{м2}$ — коэффициент времени на замену затупившегося режущего инструмента; $K_{с.с.ож} = t_{с.с.ож1}/(t_{м1}B)$ — коэффициент времени на замену отработанных СОЖ; $K_{с.с.ож} = \frac{n_{11}t_{с.с.ож1}B_2}{n_{12}t_{с.с.ож2}B_1}$ — коэффициент уменьшения времени на замену отработанных СОЖ.

Экономия от повышения производительности работы оборудования реализуется в том случае, если обеспечивается дополнительный выпуск продукции. Реальная экономия от повышения производительности может значительно возрасти, если оно осуществлено на лимитирующих операциях. В этом случае экономический эффект возрастает пропорционально количеству станков на поточной линии, участке или цехе, производительность которых определяется производительностью лимитирующей операции.

Если повышение производительности работы оборудования не влечет за собой увеличения объема производства продукции, то экономия

$$Э_n = \frac{З_n(t_{м1} - t_{м2})B_2}{60},$$

или

$$Э_n = \frac{З_n \Phi_{с.с.} K_{с.с.} B_1}{100},$$

Снижение трудоемкости изготовления продукции, нормо-ч,

$$T_n = \frac{\Phi_{с.с.} K_{с.с.} B_1}{100}$$

Экономия $Э$, (силовой электроэнергии; связанная с более высокими антикоррозионными свойствами жидкостей, заменой масляных жидкостей на водные, пожаробезопасностью) определяется по соответствующим рекомендациям.

Если внедрение новых СОЖ облегчает, оздоравливает условия труда работающих, способствует ликвидации профессиональных заболеваний, уменьшению текучести кадров (следовательно, уменьшаются затраты на подготовку специалистов соответствующей квалификации), это также должно учитываться при определении эффективности новых СОЖ. Частично потери, связанные с текучестью рабочих кадров, укрупненно могут быть рассчитаны исходя из разности производительности труда кадрового производственного рабочего и вновь принятого, а также дополнительных затрат на подготовку рабочих соответствующей квалификации. Экономия вследствие сокращения потерь рабочего времени за счет снижения профессиональных заболеваний определяется исходя из уменьше-

ния времени нетрудоспособности из-за профессиональных заболеваний, стоимости пребывания в стационаре и стоимости лечения. Экономия от улучшения санитарно-гигиенических свойств также может быть рассчитана по методике [1].

Экономия в результате повышения качества выпускаемой продукции, руб., рассчитывается по формуле

$$Э_k = Э_{k\delta} + Э_{k\lambda}.$$

Экономия за счет сокращения брака (имеет место в том случае, если при применении новых СОЖ уменьшается процент брака) рассчитывается по формуле

$$Э_{k\delta} = \Delta B(C_{\text{дет}} - Ц_6),$$

где ΔB — уменьшение числа бракованных деталей, шт.; $C_{\text{дет}}$ — себестоимость изготовления детали после данной операции с учетом себестоимости на предыдущих операциях, руб./шт.; $Ц_6$ — цена лома бракованных деталей, руб./шт.

Экономия за счет сокращения числа деталей, требующих доработки для выполнения технических требований,

$$Э_{k\lambda} = \Delta D C_{\text{дов}},$$

где ΔD — величина сокращения числа деталей, требующих доводки; $C_{\text{дов}}$ — себестоимость доводки детали для выполнения технических условий, руб./шт.

Экономический эффект в смежной сфере (в сфере использования машин, оборудования, детали которых проходят обработку при помощи новых СОЖ или техники их применения) $Э_{\text{см}} = Э_{\text{к.д}} + Э_{\text{к.л.}}$

Экономия $Э_{\text{к.д}}$ за счет повышения долговечности изделий вслед-

ствие улучшения качества обработки деталей достигается в случае увеличения срока службы узлов или машины в целом, а также быстрознашивающихся деталей, при повышении цены продукции, имеющей более высокое качество, при уменьшении объема производимой продукции более высокого качества, когда сохраняется требуемый запас работоспособности этой продукции, но открывается возможность дополнительного выпуска другой продукции. Во всех этих случаях выбирается соответствующий подход для расчета экономического эффекта.

Экономия $Э_{\text{к.л}}$ в результате повышения качества режущего инструмента достигается, если продукцией является режущий инструмент, изготавливаемый с новыми СОЖ (обычно на финишных операциях), когда экономия создается вследствие повышения стойкости инструмента, производительности обработки, сокращения брака и рассчитывается по рекомендациям ВНИИинструмента.

Снижение брака, уменьшение числа деталей, требующих доводки, и повышение долговечности изделий обеспечивают, как правило, повышение производительности, влекущее за собой либо дополнительный выпуск продукции, либо высвобождение рабочей силы. Это может создавать дополнительные источники экономии.

Если используются СОЖ, готовые к употреблению, то приведенные затраты на СОЖ принимаются равными оптовой цене $Ц_{\text{сож}}$ (руб./т).

Удельный расход новой СОЖ на единицу продукции, выпускаемой потребителем СОЖ, определяется по формуле

$$y_2 = y_1 \frac{V_2 B_1}{V_1 B_2}$$

В том случае, когда СОЖ состоят из концентрата и базовой жидкости, их оптовая цена определяется по формуле

$$C = \frac{K_{\text{сож}} C_k + (100 - K_{\text{сож}}) C_b}{100}$$

где $K_{\text{сож}}$ — применяемая концентрация СОЖ, %; C_k — оптовая цена концентрата, руб./т; C_b — оптовая цена базовой жидкости, руб./т.

Средневзвешенная экономия рассчитывается тогда, когда при массовом внедрении новых СОЖ в связи с многообразием условий работы инструментов возможны такие случаи, что новые СОЖ не дадут технологического эффекта. В этих случаях в уравнениях (1) и (2) следует принимать

$$u'_1 - u'_2 = \mathcal{E}'_{\text{р}} K_{\text{тех}},$$

где

$$\mathcal{E}'_{\text{р}} = \sum \mathcal{E}''_i K_i;$$

$\mathcal{E}''_i$ — экономический эффект от внедрения СОЖ в i -х условиях обработки (тип производства, обрабатываемый материал, условия резания и т. д.), руб.; $K_i = \frac{V_i}{\sum V_i}$ —

доля потребности в данной СОЖ в i -х условиях обработки; n — общее число позиций, на которых отмечена технологическая эффективность новой СОЖ; V_i — годовая потребность в данной СОЖ в i -х условиях обработки; $K_{\text{тех}} = \sum V_i / \sum V_i$ — доля потребности в данной СОЖ в условиях обработки, давших технологичес-

кий эффект (ориентировочно в качестве $K_{\text{тех}}$ может быть принято отношение n/k , т. е. доля испытаний, давших технологический эффект); k — общее число позиций, на которых проведены исследования технологических свойств данной СОЖ.

Пример расчета экономического эффекта от внедрения новой СОЖ в металлообрабатывающих цехах машиностроительного предприятия и усредненные данные, которые могут быть использованы для этих расчетов, приведены в рекомендациях [2].

Как показала практика внедрения новых СОЖ, величина экономии колеблется в весьма широких пределах: 20—1285 р. на станок в год.*

Иногда, несмотря на повышение стойкости режущих инструментов, дополнительные затраты на СОЖ перекрывают экономию, получаемую вследствие снижения расхода инструмента. Причины этого связаны с зависимостью экономического эффекта (при использовании дорогой, но обладающей более высокими технологическими свойствами жидкости) от скорости резания (рис. 1): наибольший экономический эффект достигается, если режим резания находится в зоне между режимами минимальной себестоимости и максимальной производительности операции. В этих условиях затраты на СОЖ оказываются значительно меньшими, чем затраты на инструмент, а повышение стойкости инструмента и производительности обработки при работе с эффективной жидкостью обеспечивает значительную эконо-

* Здесь и далее приведены данные в ценах 1990 г.

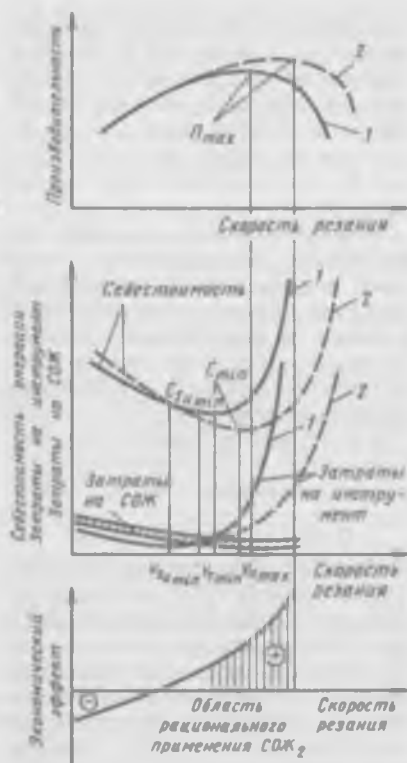


Рис. 1. Область рационального применения эффективных СОТС:

1—при обработке с СОТС 1; 2—при обработке с СОТС 2 (СОТС 2 дороже СОТС 1, но имеет более высокие технологические свойства)

мию. При пониженных режимах резания, когда затраты на инструмент составляют небольшую часть себестоимости операции, затраты на более дорогие СОЖ, даже если они и увеличивают стойкость инструмента, не перекрываются экономией на инструменте. Повышение производительности в результате сокращения времени на замену затупившегося инструмента в услови-

ях высокой стойкости инструмента также невелико.

Таким образом, на тех операциях, где затраты на инструмент незначительны, экономия при работе с высокоэффективными СОЖ не может быть достигнута только вследствие повышения стойкости инструментов. Значительный экономический эффект (130—1280 р. на станок в год) получен в тех случаях, когда затраты на инструмент составляли существенную долю в себестоимости (800—1300 р. на станок в год). В случае, если годовой расход инструмента на станок в несколько раз меньше названных выше цифр, применение более дорогой СОЖ приводит к дополнительным затратам. Если новые СОЖ способствуют улучшению качества обработки, то экономия (и значительная) достигается вследствие снижения брака или снижения времени на доводку деталей до требуемого качества даже при незначительных затратах на инструмент.

Интенсификация режима резания обеспечит больший эффект на тех операциях, где затраты на инструмент невелики (до 100 р. на станок). Так, повышение режима резания на 10% дало условно-годовую экономию 670 р. на станок, в то время как довольно значительное повышение стойкости инструментов ($K_T = 1,7-2,3$) не перекрывало более высокую цену новых СОЖ и вызывало дополнительные затраты.

Повышение производительности чаще всего обеспечивает существенный экономический эффект. В напряженных условиях обработки, возникающих при интенсификации режимов резания, новые СОЖ проявляют, как правило,

более высокие технологические свойства (см. гл. V).

Рациональная организация обеспечения эффективности СОЖ цеха, корпуса или предприятия в целом предполагает внедрение ассортимента унифицированных СОЖ. Универсальным критерием оптимизации ассортимента СОЖ и техники их применения является минимум приведенных затрат:

$$П_k = \sum_{i,j,m} C_{k_{ijm}} B_i + E_m K_k \rightarrow \min.$$

где C_k — себестоимость полного технологического цикла l -й обрабатываемой детали с учетом всех расходов, связанных с эксплуатацией h -го ассортимента СОЖ; B_i — годовая программа изготовления l -х обрабатываемых деталей; K_k — капитальные затраты на строительство, приобретение, изготовление и монтаж оборудования для эксплуатации h -го ассортимента СОЖ; m — индекс способа ввода в зону резания на j -м виде оборудования i -й марки СОЖ и обеспечения стабилизации их состояния.

Экономический эффект при внедрении ассортимента СОЖ рассчитывают как разность приведенных затрат в старом и оптимальном вариантах:

$$\mathcal{E}_k = П_{k_1} - П_{k_2}$$

Расчет оптимального ассортимента СОЖ, выполненный для одного из автомобильных заводов, показал, что увеличение числа СОЖ с семи до десяти привело к возрастанию эксплуатационных затрат не более чем на 5—10% стоимости СОЖ, а полученный экономический эффект составил 195 тыс. руб. в год.

Список литературы

1. Определение экономической эффективности мероприятий по профилактике вибрационной болезни. Под ред. А. М. Микулинского и Н. Н. Ефремовой. Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1974, 241 с.
2. Определение экономической эффективности от внедрения новых смазочно-охлаждающих жидкостей для обработки резанием: Межотраслевые методические рекомендации. Киев, 1989. 34 с.

Глава XIII. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ САПР ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СЛУЖБЫ СОТС

Выбор СОТС и рациональная организация систем их эксплуатации — часть проектирования общей системы резания. Создание гибких автоматизированных производств (ГАП), роботизация и внедрение безлюдной технологии выдвигают новые требования к структуре систем эксплуатации СОЖ и методам их проектирования. Для ускорения проектных работ используют САПР, что обуславливает изменение традиционного подхода к процессу проектирования систем эксплуатации СОТС. Для автоматизации проектирования подразделения по эксплуатации СОТС осуществляют математическую формулировку задач и построение математических моделей отдельных стадий и процессов эксплуатации СОТС, разрабатывают программно-математическое обеспечение (ПМО) для ЭВМ [7].

Процесс проектирования включает две взаимосвязанные стадии: 1) технологическое проектирование; 2) конструктивное проектирование. Цель технологического, или функционального проектирования состоит в разработке оптимальной технологической схемы функционирования СОТС; в определении оптимальных технологических параметров оборудо-

вания и технических средств применения СОЖ, а также в выборе оптимальных технологических режимов, обеспечивающих повышение эффективности системы эксплуатации СОТС. Кроме этого, на стадии технологического проектирования разрабатываются принципы автоматизированной информационно-измерительной системы управления и аналитического контроля качества эксплуатации СОТС. Технологическое проектирование начинается на стадии жизненного проекта с анализа и разработки технического задания.

Задачей конструктивного проектирования службы СОТС являются: выбор оптимального объемно-планировочного решения (компоновки) системы функционирования СОТС; выбор конструкций технологического оборудования и разработка чертежей; разработка схем технологических трубопроводов для подачи СОЖ в зону резания, удаления отработанных составов и циркуляции в остальном оборудовании; разработка монтажно-технологической документации, сметы расходов, организации строительства.

При переходе к процессу автоматизированного проектирова-

ния систем функционирования СОЖ решение перечисленных задач осуществляется с помощью ЭВМ. При этом процессе проектирование рассматривается в виде системы сбора и переработки входной научно-технической информации в выходную информацию на основании математических моделей в виде проекта системы эксплуатации СОЖ.

Автоматизация проектирования подразумевает полную формализацию и алгоритмизацию всех этапов технологического и конструкционного проектирования, начиная от разработки научных основ и кончая выпуском комплекта проектно-конструкторской документации.

Структурными частями САПР являются подсистемы. Функциональная структура САПР-СОЖ изображена на рис. 1. Она представляет собой иерархию целей, ориентированных на решение задач конкретного уровня, и состоит из следующих специализированных подсистем:

1) автоматизированного выбора составов СОЖ и прогнозирования их свойств;

2) автоматизированного технологического проектирования отдельных процессов применения СОЖ;

3) автоматизированного конструкционного проектирования оборудования и технических средств применения СОЖ;

4) автоматизированного синтеза (компоновки) схем применения СОЖ;

5) автоматизированного проектирования систем управления, диагностики и контроля СОЖ;

6) автоматизированного расчета технико-экономических пока-

зателей, составления документации и т. п.

Функционирование указанных специализированных подсистем в САПР-СОЖ обеспечивается наличием следующих общесистемных подсистем: методического обеспечения; информационного обеспечения; математического обеспечения; программного обеспечения; технического обеспечения.

К методическому обеспечению САПР-СОЖ следует отнести техническую документацию по выбору и правилам эксплуатации средств обеспечения автоматизированного проектирования.

К информационному обеспечению для САПР-СОЖ, базирующемуся на централизованном банке данных, необходимо отнести следующие объемы информации:

1) массив физико-химических, теплофизических, функциональных, основных технологических и сопутствующих свойств СОЖ;

2) массивы присадок к СОЖ с характеристиками их химической структуры и спектром активностей (основными и побочными типами функциональных свойств);

3) массивы товарных марок СОЖ базового ассортимента, выпускаемых промышленностью;

4) каталог взаимозаменяемости отечественных и импортных марок СОЖ;

5) рекомендации по применению СОЖ для основных операций ОМР, видов обрабатываемых и инструментальных материалов;

6) каталоги оборудования для технических средств применения СОЖ;

7) массив типовых процессов и технологических схем в системах применения СОЖ;

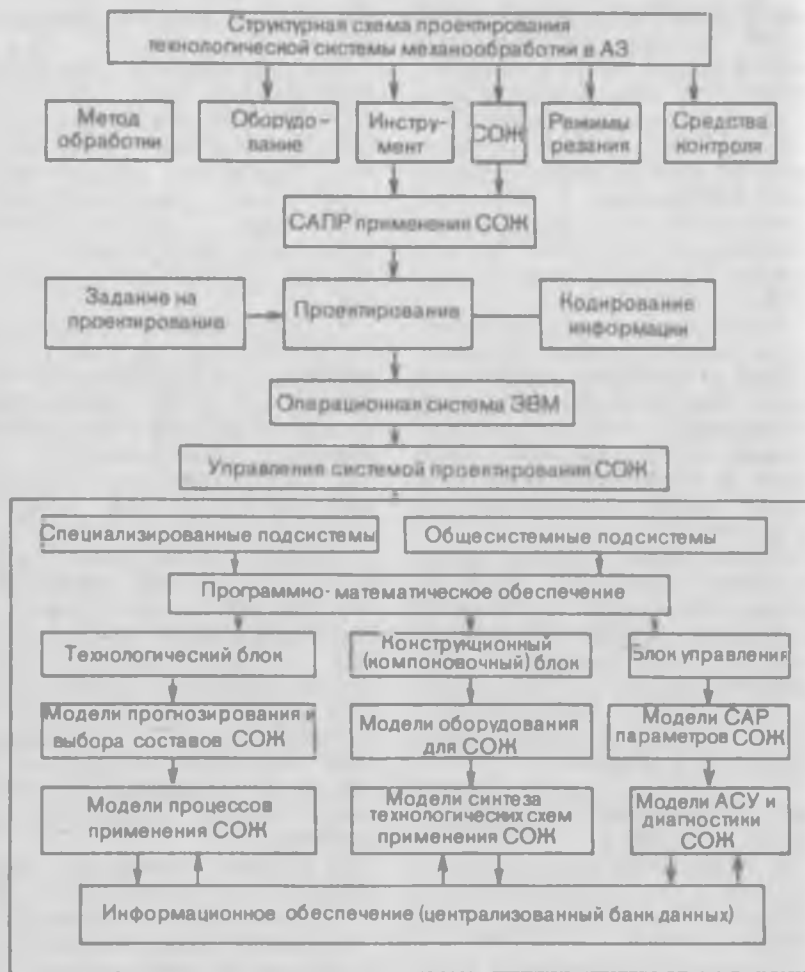


Рис. 1. Функциональная структура САПР применения СОЖ как подсистемы в САПР автоматизированного завода (АЗ)

8) массив технологических маршрутов операций, процессов и стадий по применению СОЖ;

9) технико-экономические параметры оборудования для применения СОЖ и нормативы его эксплуатации и обслуживания;

10) массивы типовых схем управления и диагностики;

11) массивы средств автоматизации контроля качества СОЖ на всех этапах функционирования, средств регулирования и датчиков информации о состоянии СОЖ.

Структура банка данных для хранения информации о присадках и рецептурах СОЖ, прогнозирования их свойств и оценки эффективности применения представлена в работе [8]. Подобный банк данных может использоваться в САПР-СОЖ для решения задачи выбора номенклатуры и составов СОЖ.

Для пополнения информационной базы САПР-СОЖ имеются два источника: экспериментальные и расчетные данные. Экспериментальное определение свойств СОЖ, проведение испытаний по оценке их эффективности и рациональным областям применения, определение оптимальных характеристик и режимов работы оборудования для эксплуатации СОЖ должны проводиться на единой научной и методологической основе с использованием средств и методов автоматизации эксперимента.

К математическому обеспечению САПР-СОЖ относят совокупность математических методов, математических моделей и алгоритмов, необходимых для осуществления автоматизированного проектирования.

Модели в САПР-СОЖ используются для выбора составов, прогнозирования их свойств, расчета технологических процессов в системе применения СОЖ; расчета аппаратного оформления и технических средств применения и оценки коэффициентов их использования. Моделирование позволяет выбрать оптимальный вариант компоновки системы применения СОЖ, т. е. осуществить синтез оптимальной технологической схемы и разработать алгоритмы управления. Для каждого варианта технологической

схемы применения СОЖ составляется математическое описание отдельных технологических процессов. При этом наряду со стандартизацией оборудования необходима стандартизация и его математического описания. Большинство моделей отдельных процессов применения СОЖ при автоматизированном проектировании используются в качестве проверочных вариантов, т. е. их применение при проектировании связано с изменением входных параметров процесса и последующим итеративным расчетом. Поэтому создание моделей в проектной постановке требует коррекции принимаемых допущений и ограничений.

К программному обеспечению САПР-СОЖ относят совокупность машинных программ, ориентированных на определенный класс ЭВМ и необходимых для автоматизированного проектирования. Одной из основных целей разработки САПР-СОЖ является создание ПМО проектных расчетов систем применения СОЖ, ориентированных на решение задач их эксплуатации с помощью имитационных моделей. Программное обеспечение САПР-СОЖ состоит из двух частей: общее (системное) программное обеспечение, используемое при решении любой задачи; специальное программное обеспечение, состоящее из пакета прикладных программ (ППП) для решения конкретных проектных задач.

В ППП предусмотрены следующие ограничения:

- 1) по информационной базе, составленной для подсистем производства и применения СОЖ: число моделей технологических операций и аппаратов для

функционирования СОЖ по всем подсистемам $N_1 \leq N_{1\max}$; число наименований аппаратов и оборудования для СОЖ $N_2 \leq N_{2\max}$, размерность моделей операций и аппаратов функционирования СОЖ, а также задач оптимизации, решаемых для процессно-аппаратных и информационно-управляющих подсистем;

2) по объемам моделей отдельных операций, аппаратов для СОЖ: число элементов таблицы коэффициентов моделей $K_1 \leq K_{1\max}$; число потоков компонентов в схеме $K_2 \leq K_{2\max}$; число регулируемых каналов управления (передаточных функций) по отдельным операциям и аппаратам $K_3 \leq K_{3\max}$.

В ППП предусматривается возможность применения математического описания технических операций и аппаратов для функционирования СОЖ, основанного на моделях различного уровня сложности. Наивысший уровень сложности представляют модели, составленные на основе полного математического описания с учетом физико-химических, массообменных, гидродинамических и тепловых особенностей процессов функционирования СОЖ. На начальном этапе проектирования используют модели, основанные на принципах имитационного моделирования [2].

Нелинейные математические модели для различных операций применения СОЖ представляют в следующем виде:

$$[Y_m^i] = [F_{mn}^i] \{ [X_n^i] [K_p^i] \},$$

где $[Y_m^i]$ — вектор-столбец параметров выходных потоков СОЖ; $[F_{mn}^i]$ — нелинейная вектор-функция; $[X_n^i]$ — вектор-столбец параметров входных потоков СОЖ; $[K_p^i]$ — вектор конструктивных

параметров аппаратов для СОЖ; $n(m)$ — число параметров входных (выходных) потоков; p — число параметров i -го элемента.

В случае использования метода линеаризации функция F_{mn}^i для i -й операции функционирования СОЖ является линейной функцией вектора параметров входных потоков X_n^i и модель i -й операции записывается в следующем виде:

$$[Y_m^i] = [R_{mn}^i] [X_n^i],$$

где $[R_{mn}^i]$ — матрица линейного преобразования i -й операции применения СОЖ.

Для процессов, протекающих в подсистемах приготовления, очистки, регенерации и разложения отработанных составов СОЖ, существуют следующие ключевые операторы, для которых определена матрица преобразования $[R_{mn}^i]$: смешение потоков; разделение потоков; физико-химические превращения.

Например, в процессе приготовления СОЖ линеаризованная математическая модель аппарата-смесителя для двух потоков — концентрата (эмульсола) X_1 и базового растворителя X_2 — с использованием матрицы преобразования $[R_{mn}^i]$ имеет следующий вид:

$$\begin{bmatrix} m_y \\ H_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} m_{x_1} \\ m_{x_2} \\ H_{x_1} \\ H_{x_2} \end{bmatrix},$$

где m_x — общий массовый расход смешиваемых компонентов СОЖ; H_{x_i} — энтальпия i -го потока; индекс y — выходной поток рабочего раствора СОЖ.

В процессах эксплуатации СОЖ, связанных с разделением потоков (очистка, регенерация, разложение отработанных соста-

вов), связь между входными и выходными потоками устанавливается следующим образом:

$$[Y_m] = \begin{bmatrix} R_{11} & 0 & 0 \\ 0 & R_{22} & 0 \\ 0 & 0 & R_{nn} \end{bmatrix} [X_m].$$

Элементы матрицы преобразования $[R_{mn}]$ в этом случае не равны между собой и представляют собой различные доли расхода каждого отдельного компонента (потока СОЖ и примесей) в выходных потоках от расхода этих компонентов во входном потоке.

Если в процессах эксплуатации СОЖ происходят физико-химические превращения, то связь между векторами параметров входных и выходных потоков для оператора физико-химических превращений представляют в следующем виде:

$$[Y] = ([E] + [C] \times [S]) \times [X],$$

где матрица преобразования $[R] = ([E] + [C] \times [S])$; $[E]$ — единичная матрица; $[C]$ — матрица степеней превращения реагентов; $[S]$ — стехиометрическая матрица.

Представление математического описания отдельных операций функционирования СОЖ в форме матриц преобразования существенно упрощает задачу автоматизированного проектирования системы функционирования СОЖ. В ППП САПР-СОЖ для этой цели необходимо обеспечить автоматизированное преобразование задач оптимизации процессов функционирования СОЖ на основе нелинейных математических моделей к эквивалентной задаче линейного программирования с использованием матричной формы (столбцы-строки) записей

моделей отдельных операций функционирования СОЖ.

В технической документации на ППП предусматриваются методические указания по составлению математических моделей с учетом следующих этапов:

моделирование отдельных операций и аппаратов для функционирования СОЖ на основе заполнения исходных форм по типам моделей;

синтез общей технологической схемы по всем стадиям функционирования СОЖ в целом на основе моделей отдельных операций и аппаратов;

составление словаря шифров операций, аппаратов, стадий функционирования СОЖ;

занесение шифров в формы для типов моделей;

заполнение строк и столбцов для параметров моделей в матричной форме;

моделирование процессов управления отдельными операциями и аппаратами для СОЖ;

синтез системы автоматического регулирования параметров СОЖ.

На основании использования в качестве первого приближения линеаризованной формы моделей, преобразующей описание основных операций функционирования СОЖ в виде операторов матрицы преобразования, разработаны различные формы технической документации для ППП САПР-СОЖ [7]. Для технологического проектирования системы применения СОЖ в ППП используется форма 1.

Показатели качества в форме 1 задаются исходя из требований к процессам приготовления рабочих растворов, очистки и регенерации, а также к составу обез-

ФОРМА 1. Модели технологических операций функционирования СОЖ в линеаризованном виде

Шифр оператора: смешение; разделение; физико-химическое превращение	Тип модели	Матрица преоб- разования $[R_{mn}]$		Параметры век- торов модели	
		столбцы	строки	входы X_m	выходы Y_n
Наименование входных (выход- ных) компонентов потоков СОЖ	Шифр	Показатели качества			
		d_1	d_2	d_i	d_n
Вид ограничений на показатель качества	Шифр				
Номер показателя качества	Шифр				

вреженных сточных вод. При этом на операции приготовления показатели качества компонентов входных потоков выбираются исходя из технических условий на поставляемые эмульсолы и концентраты, а также показателей качества растворителей (воды, ма-

ФОРМА 2. Модели аппаратов и технических средств для функционирования

Шифр аппарата (установки) для СОЖ	Тип модели	Столбцы		Строки		Входы	Выходы для печати на АЦПУ		
Наименование режима работы	Шифр	Виды режимов работы аппарата для СОЖ							
		1	2	3	4	5	6		
Наименование входных (выходных) компонентов потоков СОЖ	Шифр	Соотношение между компонентами, %							
Значения затрат C_j									
Производительность K_{ij}	макси- мальная мини- мальная номи- нальная								
Дополнительные показате- ли	Шифр								

сла). Показатели качества выходных потоков рабочих растворов d_i устанавливаются на основании требований процессов механообработки в соответствии с подходом, изложенным в [6].

Для конструкционного проектирования и выбора оборудования в САПР-СОЖ используют ППП, основанные на форме 2.

Для заполнения формы 2 необходимо определить количество вариантов или режимов работы каждого аппарата для СОЖ, соответствующего требуемой гибкости системы применения СОЖ. Под вариантом работы аппарата для СОЖ понимается режим, отличающийся составом (качественным и/или количественным) входных потоков, коэффициентами отбора выходных потоков или составом выходных потоков и требующий при переходе с одного варианта работы на другой дискретного переключения технологических параметров (режимных и/или управляющих). Каждому режиму в форме 2 соответствует столбец. В строки заносится коэффициент соотношения компонентов входных и выходных потоков.

Одной из задач, решаемых с помощью ППП в САПР-СОЖ, является синтез автоматизированной системы управления (АСУ), обеспечивающей гибкость управления системой функционирования СОЖ. Уровень автоматизации аппаратов и установок неравносителен для разных подсистем функционирования СОЖ и в основном характеризуется наличием локальных систем автоматического регулирования (САР). Математические модели — основа для создания САР параметров СОЖ. Отдельные динамические модели разработаны для управления про-

цессами функционирования СОЖ в основном в подсистеме применения. Включение этих моделей в ППП САПР-СОЖ возможно на основе использования формы 3.

Заполнение этой формы возможно на основе анализа существующих или вновь разработанных динамических математических моделей, а также систем регулирования, связывающих входные и выходные, возмущающие, управляющие и регулируемые переменные. В работе [4] рассмотрены динамические модели изменения свойств СОЖ в системах стабилизации и очистки СОЖ (температура и степень загрязнения). В системах очистки с использованием мембранных процессов используют как полуавтоматическую, так и автоматическую системы регулирования, в которых основным каналом управления является регулирование (стабилизация) давления при возмущающих воздействиях температуры и концентрации [1]. В системах обезвреживания СОЖ методом электрокоагуляции регулируемые параметрами являются расход жидкости, уровень, температура, качество очищенной жидкости [7].

Исходя из приведенных выше подсистем, составляющих структуру САПР-СОЖ, ее работа может быть организована следующим образом.

В технологическом блоке анализируется входная информация об условиях эксплуатации СОЖ на предприятиях — потребителях СОЖ и на основании банка данных осуществляется выбор составов и номенклатуры СОЖ. При отсутствии в товарном ассортименте требуемой марки СОЖ вы-

ФОРМА 3. Модели локальных систем автоматизированного регулирования параметров в системе применения СОЖ

Шифр аппарата для СОЖ	Тип модели управления	Входы					Выходы				
Наименование канала управления	Шифр	Коэффициенты									
		уравнения динамики			переходного процесса			передаточной функции			
Наименование возмущающих параметров	Шифр	Пределы изменения									
		1	2	3	4	5	6		7		
Наименование регулируемых параметров	Шифр	Коэффициенты настройки регуляторов									
		1	2	3	4	5	6		7		

дается техническое задание и осуществляется проектирование системы производства новой СОЖ.

Вводится и анализируется информация об отдельных процессах, реализуемых в системе применения СОЖ. Выбираются технологические процессы, необходимые для обеспечения функционирования конкретной марки СОЖ. Оцениваются режимы протекания процессов, входные параметры. На основании математических моделей отдельных процессов осуществляется проектный расчет выходных параметров (заданных локальных критериев). В конструкционном (компоновочном) блоке решаются задачи, связанные с выбором оборудования и синтезом проектируемой системы применения СОЖ, а при необходимости и с выбором оборудования для производства новой СОЖ. Анализируются различные

варианты состава аппаратуры и технических средств, пригодных для выполнения отдельных технологических процессов. Исходная номенклатура оборудования для применения СОЖ анализируется путем использования алгоритмов направленного поиска. В результате анализа определяется оптимальный состав оборудования и соответствующая оптимальная технологическая схема применения СОЖ.

В блоке управления решаются задачи автоматизированного регулирования и управления отдельными процессами и аппаратами и всей системой функционирования СОЖ в целом. Для управления служат типовые схемы диагностирования и регулирования параметрами СОЖ. На основе анализа входной информации выбираются оптимальные схемы управления, номенклатура средств

диагностики, регулирования. Кроме того, в блоке управления осуществляется синтез автоматизированной системы управления последовательностью работы аппаратуры и технических средств производства или применения СОЖ, а также синтез схем диагностики и адаптивного регулирования параметров СОЖ на основе экспертной системы [5].

В целом предлагаемая структура САПР применения СОЖ основана на математическом моделировании и описании процессов и оборудования для эксплуатации СОЖ и предназначается в качестве отдельной подсистемы для технологической подготовки проектирования вспомогательных подразделений механообрабатывающих производств.

Список литературы

1. Дытнерский Ю. И. Баромембранные процессы: Теория и расчет. М.: Химия, 1986. 272 с.
2. Кафаров В. В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. М.: Химия, 1989. 448 с.
3. Назарян М. М., Мануйлов М. Б., Балака Л. А. Моделирование процесса коагуляции. Харьков, 1982. 9 с. Деп. в ВИНТИ, № 454.
4. Поляисков Ю. В. Повышение эффективности операций шлифования путем стабилизации свойств СОЖ: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М., 1983. 34 с.
5. Чулок А. И. Информационно-поисковые системы для синтеза и применения СОЖ // Сер. Автоматизированные системы проектирования и управления. Вып. 4. М.: ВНИИТЭМР, 1990. 48 с.
6. Чулок А. И. Комплексно-структурный метод классификации свойств и оценки качества СОЖ на основе системного подхода // Эффективность и перспективы применения режущего инструмента из СТМ. М.: ВНИИинструмент, 1986. С. 105—113.
7. Чулок А. И. Математические модели автоматизированного проектирования систем применения СОЖ // Автоматизированные системы проектирования и управления. Сер. 9. Вып. 5. М.: ВНИИТЭМР, 1987. 84 с.
8. Чулок А. И., Кафаров В. В. Банк данных для прогнозирования свойств и выбора эффективных СОЖ // Химия и технология топлив и масел. 1986. № 12. С. 31—34.

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. ПРЕДПРИЯТИЯ-ИЗГОТОВИТЕЛИ ОСНОВНЫХ МАРОК СОТС, БИОЦИДНЫХ ПРИСАДОК, МОЮЩИХ И МОЮЩЕ-ДЕЗИНФИЦИРУЮЩИХ СРЕДСТВ

Предприятие	Адрес, телефон
ПО «Ангарскнефтеоргсинтез»	665830, г. Ангарск, Иркутская обл., телефоны: 7-52-00, 7-51-84
Бакинский нефтеперерабатывающий завод (НПЗ)	370026, г. Баку, Рабочий проспект, д. 64 телефон 66-12-23
Бердянский опытный нефтемасло-завод (ОНМЗ) НПО «МАСМА»	332440, г. Бердянск Запорожск. обл., ул. Шау- мяна, 2, телефоны: 39-13-09, 33-72-14
ПТП «Галлак»	293760, г. Борислав Львовск. обл. ул. Дрогобыч- ская, 721, телефоны: 3-29-97, 5-05-54
Фирма «Варя»	603603, г. Нижний Новгород, ул. Коминтерна, 47, телефон 46-94-20
ПО «Горькнефтеоргсинтез»	293720, г. Дрогобыч Львовск. обл., ул. Стрый- ская, 443, телефоны: 2-04-20, 2-06-50
Дрогобычский опытный завод (ДОЗ) НПО «МАСМА»	153533, г. Иваново, ул. Кузнецова, 112, телефоны: 4-04-84, 2-66-01
АО «Ивхимпром»	196102, г. Санкт-Петербург, ул. Салова, 51, телефоны: 166-34-61, 166-26-86
С.-Петербургский ОНМЗ	290024, г. Львов, ул. Б. Хмельницкого, 207, телефоны: 52-10-45, 33-33-24
Львовский ОНМЗ НПО «МАСМА»	252180, г. Киев, проспект Палладина, 46 телефоны: 444-24-13, 444-03-64
НИИНП «МАСМА»	446207, г. Новокуйбышевск, Самарская обл., телефоны: 1-42-09, 9-81-78
Новокуйбышевский НПЗ	460028, г. Оренбург, ул. Заводская, 30, телефоны: 4-31-55, 4-96-37
Оренбургский ОНМЗ	614055, г. Пермь, ул. Яблочкова, 26, телефоны: 37-63-77, 37-92-23
Пермский завод смазок и СОЖ	226, г. Рига, ул. Твайко, 35, телефон 39-25-84
Рижский завод смазок и СОЖ	340040, г. Ростов-на-Дону, ул. Сиверса, 8, телефоны: 66-25-05, 66-24-19
Ростовский ОНМЗ	390090, г. Рязань, Главпочтамт, телефон 2-05-61
Рязанский НПЗ	453206, г. Салават, телефон 4-92-30
ПО «Салаватнефтеоргсинтез»	245110, г. Шостка Сумск. обл., телефон 9-45-23
Шосткинский завод химических реак- тивов	152321, г. Ярославль, пос. Константиновский, телефоны: 4-32-10, 4-31-31
Ярославский НПЗ	

**2. ПРЕДПРИЯТИЯ-ИЗГОТОВИТЕЛИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ
НАГНЕТАНИЯ И ОЧИСТКИ СЖ**

Предприятие	Адрес
Грязинский завод гидрооборудования (ГЗГ)	399300, г. Грязи Липецкой обл., ул. Расковой, 33
Николаевское производственное объединение по выпуску смазочного оборудования (НПОСО)	327028, г. Николаев, ул. Космонавтов, 81
Скопинский завод электронасосов (СЗЭ)	394846, г. Скопин, 15 Рязанской обл.
Ульяновское производственное объединение «Гидроаппарат» (УПОГ)	432032, г. Ульяновск, Московское шоссе, 9
НПО «Автотермообработка» (институт КЭКТИАВТОПРОМ)	640000, г. Курган, ул. Ленина, 5
Хвалынский завод гидроаппаратуры	г. Хвалыnsk Саратовской обл.
Дагестанский завод «Гидроавтомат-деталь»	г. Изербаш, Дагестан

3. ЗАРУБЕЖНЫЕ СОТС

П.1. Ассортимент масляных СОТС, выпускаемых предприятиями и фирмами различных стран

Наименование СОТС	Классификационное обозначение СОТС (ИСО 6743/7)	Вязкость кинематическая, мм ² /с, при 40 °С	Температура вспышки в открытом тигле, °С, не ниже	Область преимущественного применения
Болгария				
C-12 C-20	(L-MHA)	14—20 30—42	160 170	Лезвийная и абразивная обработка нормально обрабатываемых сталей, чугунов, а также меди, алюминия, магния и их сплавов Лезвийная обработка средне- и труднообрабатываемых сталей Черновое и чистовое фрезерование алюминия и его сплавов
Резинол ЛТ-Д21 Резинол ЛТ-31 АО Фрезол 21	(L-MHD)	12—14	140	
	(L-MHF)	19—23	170	
	(L-MHF)	5—8	110	
Венгрия				
Комактол 10 (Komaktol 10)	(L-MHF)	9—11	120	Лезвийная и абразивная обработка труднообрабатываемых сталей и сплавов Лезвийная и абразивная обработка нормально- и труднообрабатываемых сталей и сплавов, а также меди, алюминия, магния и их сплавов
Комактол-37 (Komaktol 37)	(L-MHF)	33—41	160	
GHS-32	(L-MHF)	20	210	Точение и растачивание легкообрабатываемых углеродистых сталей; сверление, шлифование сплавов алюминия и меди Сверление, протягивание, зубообработка углеродистых и легированных сталей, труднообрабатываемых материалов
Инактол МН-32 (Inaktol МН-32)	(L-MHC)	28—35		
МЮ-25 (MÜ-25)	(L-MHF)	22—28	160	Хонингование и суперфиниширование чугунов, сталей, труднообрабатываемых материалов; чистовая лезвийная обработка и шлифование сплавов алюминия и меди
Хонол М-4 (Honol М-4)	(L-MHB)	3—5	100	
Хонол М-4ЕР (Honol М-4ЕР)	(L-MHE)	3—5	100	Хонингование и суперфиниширование сталей, труднообрабатываемых материалов, сплавов меди; резьбонарезание, шлифование сплавов алюминия и меди
Польша				
SM	(L-MHA)	12—15	160	Точение, сверление, фрезерование, резьбонарезание с малыми скоростями черных и цветных металлов Точение и фрезерование меди и сплавов; резьбонарезание в стали, сплавах алюминия и развертывание Фрезерование стали и сплавов меди; развертывание стали, сплавов меди и алюминия и другие операции Сверление глубоких отверстий в сталях, сплавах меди и алюминия; обработка на станках-автоматах
ACP-1	(L-MHE)	20—40	140	
ACP-2	(L-MHE)	35—60		
ACP-3	(L-MHE)	45—65	150	
Сульфифрезол-2 (Sulfofresol-2)	(L-MHD)	22—27	150	Широкий круг операций обработки резанием труднообрабатываемых сталей и сплавов
Хонол А (Honol А)	(L-MHE)	7—11	120	Выглаживание и хонингование деталей из черных металлов
Хонол В (Honol В)	(L-MHC)		140	
Хонол С (Honol С)	(L-MHC)	≤ 5,0	90	
Хонол D (Honol D)	(L-MHB)	≤ 5,5	95	
Аустенол А (Austenol А)	L (MHF)	6—11	130	Обработка резанием труднообрабатываемых аустенитных сталей, тяжелые условия обработки (сверление глубоких отверстий) широкого ассортимента сталей
Аустенол В (Austenol В)		12—14	140	
Аустенол С (Austenol С)	(L-MHD)	22—29	150	
Аустенол D (Austenol D)		46—52	160	

Наименование СОТС	Классификационное обозначение СОТС (ИСО 6743/7)	Возможность кинематическая, мм ² /с, при 40 °С	Температура вспышки в открытом тигле, °С, не ниже	Область преимущественного применения
Полгринд 1А (Polgrind 1А) Полгринд Х (Polgrind X)	(L-MHE)	11—13 21—26	170 160	Высокоскоростное (60 м/с) шлифование инструментальных сталей на станколиннии «Хертлайн» Скоростное шлифование сталей нормальной обрабатываемости
Румыния				
P1	(L-MHA)	4,5—6,6	90	Хонингование деталей из чугуна, точение сталей.
PIR1 PIR2	(L-MHC)	3,3—4,5 4—5,4		Суперфиниширование черных и цветных металлов
P1B1 P1B2	(L-MHA)	23—37,0 —	180 190	Шлифование с малой скоростью, точение сталей и цветных металлов Шлифование с малыми и средними скоростями сталей, точение цветных металлов и сплавов
P2A P4C1	(L-MHC)	29,0—38,0 16,0—24,0	160 140	Зубонарезание, фрезерование, точение деталей из углеродистых сталей Обработка в тяжелых условиях сталей и чугуна (глубокое сверление, точение), обработка на автоматах
P4C2	(L-MHD)	35—57	165	Обработка сталей в тяжелых условиях (протягивание, фрезерование)
Чехия и Словакия				
B2	(L-MHA)	26—37	150	Лезвийная обработка нормально обрабатываемых сталей, а также магния и его сплавов
P0	(L-MHB)	2,7—3,9	80	Хонингование сталей, лезвийная обработка алюминия и его сплавов
P3		35—47	170	Лезвийная обработка средне- и труднообрабатываемых сталей, а также меди и ее сплавов

P2DS P4DS	(L-MHC)	≤27 50—80	155 180	Лезвийная и абразивная обработка труднообрабатываемых сталей и сплавов
MS	(L-MHB)	50—80	180	Лезвийная обработка среднеобрабатываемых сталей
Катол (Katol PP) Калорекс 60 (Kalorex 60)	(L-MHE)	≥8 ≥17	66* 155	Развертывание, зубонарезание, протягивание и зубофрезерование нормально- и труднообрабатываемых сталей
Калорекс 100 (Kalorex 100)	(L-MHD)	≥11	145	
Эжектол HV (Ejectol HV) Абразол В (Abrazol B)	(L-MHD)	15—17 ≤27	80 140	Глубокое сверление сталей и чугунов Профильное и скоростное шлифование сталей
Абразол V (Abrazol-V)	(L-MHF)	≤24		Глубокое сверление сталей и чугунов
Финол (Finol) Финол Н (Finol H) Финол НВ (Finol HB) Хонол V1 (Honol V1)	(L-MHC)	2—3 3—4 3—4,5 ≤6	82 84 85 66*	Финишные операции абразивной обработки сталей и чугуна

Германия

Предприятия восточных земель

SO 110 A SO 120 A	(L-MHA)	2—3 6—16	101 112	Шлифование и хонингование металлов, возможно применение на операциях лезвийной обработки
FOS 3A	(L-MHD)	4,5	101	

Наименование СОТС	Классификационное обозначение СОТС (ИСО 6743/7)	Вязкость кинематическая, мм ² /с, при 40 °С	Температура вспышки в открытом тигле, °С, не ниже	Область преимущественного применения
К 12 Pг	(L-MHB)	11—25	120	Зубошлифование, резбошлифование. Пригодна для обработки меди и ее сплавов Шлифование металлов, возможно применение при лезвийной обработке Широкий круг операций лезвийной обработки черных и цветных металлов
FOS 12A	(L-MHD)	15—22		
S 16A	(L-MHB)	18—32	170	
FOS 16B K16 SPг	(L-MHD)	17—31 16—36	165 175	Тяжелые операции глубокого сверления Легкие операции глубокого сверления, шлифование резьбы и зубошлифование. Не пригодна для обработки цветных металлов
TB 1/S Герокат супер (Gerocut Super)	(L-MHF) (L-MHC)	11—18 18—36	140 160	Тяжелые операции лезвийной обработки черных и цветных металлов
K33 SPг 10	(L-MHD)	46—69	175	Протяжка и нарезание резьбы при обработке легко- и среднеобработываемых сталей; не пригодна для обработки цветных металлов Нарезание внутренней резьбы на сталях высокой прочности
K33 SPг 30	(L-MHD)	46—69	175	
K33 CISPг25	(L-MHF)	46—69	175	Особо тяжелые условия протяжки и нарезания резьбы. Не следует применять при обработке сплавов цветных металлов Хонингование и суперфиниширование углеродистых и легированных сталей, труднообрабатываемых материалов
SME	(L-MHA)	6—11	135	

Фирма «Дойче Кастрол индустриал ГмБН

Хонило 930 (Honilo 930)	M1.П1.г	4,15	124	Хонингование чугунов
Хонило 971 (Honilo 971)	M1.П2.авг	8,8	138	Алмазное хонингование и глубокое сверление высоковязких высокопрочных сталей и сплавов
Хонило 980 (Honilo 980)	M1.П2.аг	4,62	140	Хонингование корундом и алмазным инструментом закаленных, азотированных и хромированных сталей, лезвий для обработки сплавов алюминия и стекла
Хонило 982 (Honilo 982)		4,47		
Хонило 981 (Honilo 981)	M1.П2.а	5,0	125	Микро- и суперфинишное хонингование высоковязких, высокопрочных сталей и никельсодержащих сплавов
Хонило 983 (Honilo 983)	M1.П2.аг	8,5	130	Высокопроизводительное хонингование длинными хонами
Хонило 987 (Honilo 987)	M1.П2.аг	4,45	140	Алмазное хонингование термообработанных сталей
Хонило 988 (Honilo 988)	M1.П2.авг	4,8	130	Финишное хонингование закаленных сталей и сплавов цветных металлов
Вариокат В 27 (Variocut В 27)	M2.П2.авг	20,7	197	Высокопроизводительные процессы автоматной обработки, фрезерования методом обкатки
Вариокат С 331 (Variocut С 331)	M3.П3.ав	37,0	190	Обработка резанием и давлением легированных, хромоникелевых, цементированных, кислотостойких и термостойких сталей
Вариокат С 334 (Variocut С 334)	M2.П2.ав	11,0	140	Широкий круг операций лезвийной и абразивной обработки черных металлов (в том числе и высокоскоростные операции)
Вариокат С 335 (Variocut С 335)	M3.П3.авг	37,0	220	Универсальное СОТС для лезвийной и абразивной обработки легированных, цементированных, кислото- и термостойких хромоникелевых сталей
Вариокат С 429 (Variocut С 429)	M2.П2.авг	18,0	198	Лезвийная обработка сплавов алюминия (и других металлов)
Вариокат С 462 (Variocut С 462)	M3.П3.а	22,5	182	Обработка резанием практически всех легированных сталей, цветных металлов и их сплавов

Наименование СОТС	Классификационное обозначение СОТС (ИСО 6743/7)	Вязкость кинематическая, мм ² /с, при 40 °С	Температура вспышки в открытом тигле, °С, не ниже	Область преимущественного применения
Вариокат С 629 (Variocut С 629)	М3.П2.вг	32,3	213	Средние и тяжелые операции лезвийной обработки на многошпиндельных автоматах легированных сталей, чугунов и цветных металлов Операции глубокого сверления черных металлов на станках высокой производительности Высокопроизводительные процессы шлифования черных металлов Скоростное профильное шлифование легированных и инструментальных сталей Приготовление рабочих композиций, корректировка качества СОТС в процессе эксплуатации
Вариокат D 734 (Variocut D 734)	М2.П3.вг	13,7	150	
Вариокат G 485 (Variocut G 485)	М1.П2.авг	10,0	146	
Вариокат G 500 (Variocut G 500)	М2.П3.аг	18,6	194	
Вариоконн (Variokonz)	М3.П4.авг	201,5	175	
Варио 3003 (Vario 3003)	М3.П2.вг	32,0	216	Используются при лезвийной и абразивной обработке черных и цветных металлов и в качестве гидравлической жидкости в станках
Варио 3004 (Vario 3004)	М3.П3.вг	44,3	225	

Фирма «Фукс Минеральойлверке GmbH»

Ратак HF 15 B (Ratak HF 15 B)	М1.П2.а	4—5	130	Хонингование сталей, чугунов, алюминия, цветных металлов, хромированных поверхностей различными инструментами Шлифование инструментальных сталей
Ратак HSG-73 (Ratak HSG-73)	М3.П2.а	38—40	218	
Ратак MC 37 (Ratak MC 37)	М3.П2.абвг	56—58	200	Лезвийная и абразивная обработка высоколегированных высокопрочных сталей и сплавов и бронз
Ратак MC 221 (Ratak MC 221)	М2.П2.абвг	24—29	180	

Ратак М 2000 (Ratak M 2000)	М3.П2.абвг	32—38	200	Обработка металлов резанием; в гидравлических и смазочных системах станков
Ратак М 201 (Ratak M 201)	М2.П1	22—26	175	Обработка резанием нелегированных и низколегированных конструкционных сталей, сплавов меди и других цветных металлов
Ратак М 202 (Ratak M 202)				
Ратак MS 400 (Ratak MS 400)	М1.П1	7—12	140	Лезвийная обработка магния и его сплавов Глубокое сверление, фрезерование, зубонарезание аустенитных хромоникелевых сталей Особо тяжелые условия фрезерования, зубонарезания при обработке высоколегированных, коррозионно-стойких, жаростойких и жаропрочных аустенитных сталей и сферокристаллического чугуна. Тяжелые условия шлифования Тяжелые условия фрезерования, протягивания, высокоскоростного протягивания высоколегированных сталей
Ратак MS 55 (Ratak MS 55)	М2.П2.абвг	24—27	165	
Ратак MS 121 (Ratak MS 121)	М2.П2.абв	24—29	180	
Ратак MS 131 (Ratak MS 131)	М2.П2.6в	17—22	165	Протягивание жаростойких сталей, фрезерование, резбо- и зубонарезание Глубокое сверление сталей
Ратак MS 135 (Ratak MS 135)	М2.П2.абв			
Ратак MS 137 (Ratak MS 137)	М1.П2.абв	11—15	165	
Ратак MS 323 (Ratak MS 323)	М3.П3	76—83	220	Очень тяжелые операции лезвийной обработки высоколегированных сталей при сравнительно низких скоростях резания (например, зубофрезерование) Различные операции зубообработки на сталях
Ратак MS 335 (Ratak MS 335)	М2.П2.абв	32—38	190	
Ратак MS 15 (Ratak MS 15)	М1.П1	6—11	140	Шлифование в тяжелых условиях
Ратак MZA 54 (Ratak MZA 54)				

Наименование СОТС	Классификационное обозначение СОТС (ИСО 6743/7)	Вязкость кинематическая, мм ² /с, при 40 °С	Температура вспышки в открытом тигле, °С, не ниже	Область преимущественного применения

Фирма «Мотул»

Супрако 504 (Supraco 504)	M2	27—29	—	Лезвийная обработка легкообрабатываемых черных металлов
Супрако 523 (Supraco 523)		23—26	—	Лезвийная обработка среднеобрабатываемых черных металлов
Супрако 530 (Supraco 530)	M3	39—46	—	Лезвийная и абразивная обработка труднообрабатываемых сталей и сплавов
Супрако 530 F (Supraco 530 F)	M2	21—25		
Супрако 534 (Supraco 534)	M3	70—80	—	Лезвийная обработка труднообрабатываемых жаростойких сталей и сплавов
Супрако 540 (Supraco 540)	M2	31—35		
Сафко Кут 2 (Safco kut 2)	M3	650	—	Лезвийная обработка всех черных металлов на малых скоростях резанием (смазка ручная)
Супрако 512 (Supraco 512)	M2	15—18		Лезвийная обработка труднообрабатываемых сплавов меди
Супрако 557 (Supraco 557)	M3	39—42		Обработка меди, хорошо- и среднеобрабатываемых сплавов
Супрако 560 (Supraco 560)	M1	8—11		Обработка магния и его сплавов, абразивная обработка металлов
Супрако 563 (Supraco 563)	M2	13—15	—	Обработка алюминия и его сплавов
Супрако Форалж 1325 (Supraco Forag 1325)		15—17		Сверление, глубокое сверление коррозионно-стойкой и жаропрочных сталей и сплавов

Дасколен 445 F (Dascolene 445 F)	M2	32—35	—	Сверление и протягивание легированных жаростойких и других сталей со скоростью ≥ 10 м/мин
Дасколен 447 F (Dascolene 447 F)	M2	27—28		
Дасколен 447 WF (Dascolene 447 WF)	M3	47—53		
Супрако 559 (Supraco 559)	M1	4—6	—	Отрезка, сверление, резьбонарезание легкообрабатываемых сталей и цветных металлов
Супрако 502 (Supraco 502)	M2	22—24		
Супрако 503 (Supraco 503)	M2	13—19		
Супрако 520 (Supraco 520)	M2	18—19	—	Лезвийная обработка
Супрако 559/82 (Supraco 559/82)	M1	5—7		Лезвийная обработка сталей и цветных металлов нормальной обрабатываемости
Юзинол Стандарт 44 (Usinol Standard 44)	M2	21—23		
Супрако 528 (Supraco 528)	M3	27—28	—	Лезвийная обработка труднообрабатываемых черных металлов
Супрако 536 (Supraco 536)		68—70		
Юзинол Специаль 46 (Usinol Special 46)		22—24		
Супрако 591 (Supraco 591)	M3	58—65	—	Обработка труднообрабатываемых сталей и сплавов (в том числе жаростойких)
Супрако 565 SP (Supraco 565 SP)		110—120		Отрезка, резьбонарезание при очень низких скоростях резания
Юзинол Экстра 48 (Usinol Extra 48)	M2	68—70		Отрезка, резьбонарезание при всех скоростях резания
Юзинол Супер 47 (Usinol Super 47)		22—24		Отрезка, резьбонарезание при больших скоростях резания

Наименование СОТС	Классификационное обозначение СОТС (ИСО 6743/7)	Вязкость кинематическая, мм ² /с, при 40 °С	Температура вспышки в открытом тигле, °С, не ниже	Область преимущественного применения
Супрако 508 (Supraco 508) Супрако 522 (Supraco 522) Юзинол Универсал 45 (Usinol Universale 45) Супрако 1160 (Supraco 1160) Экселен 300 F (Excelene 300 F)	M3	70—75 46—48 47—53 42—45 42—45	—	Обработка нормально обрабатываемых металлов на многошпиндельных токарных автоматах Обработка металлов нормальной обрабатываемости на токарных автоматах Обработка труднообрабатываемых металлов на токарных автоматах Легкие условия шлифования черных металлов Тяжелые условия профильного шлифования инструментальных сталей
Супрако 506 (Supraco 506) Супрако 559 LP2 (Supraco 559 LP2)	M1	8—11 8—9	—	Финишные операции обработки легко- и среднеобрабатываемых сталей, цветных металлов и особенно чугунов Операции доводки
Супрако N5LD12 (Supraco N5LD12) Супрако RD967P (Supraco RD967P)	M2 M1	14—17 8—9	—	Финишные операции обработки труднообрабатываемых сталей и сплавов

Англия

Фирма «Барма-Кастрол»

Илокат 101 (Posut 101)	M3.П3.ав	160—170	190	Тяжелые условия обработки черных металлов
Илокат 103 (Posut 103)		37—40	179	Средние и тяжелые условия обработки резанием черных металлов (в том числе обработка на автоматах и полуавтоматах)
Илокат 106 (Posut 106)	M2.П2.ав	34	179	Средние режимы обработки черных металлов на токарных, резбонакатных и других автоматах
Илокат 110 (Posut 110)		26	176	
Илокат 111 (Posut 111)	M2.П3	27—28	172	Зубонарезание, протяжка, нарезание резьбы на черных металлах Зубонарезание на высокоскоростных полуавтоматах, операции лезвийной обработки черных металлов на небольших высокоскоростных автоматах
Илокат 116 (Posut 116)	M3.П3.ав	110—115	186	
Илокат 131 (Posut 131)	M3.П3.абв	44—50	161	Особо тяжелые условия обработки резанием черных металлов (зубонарезание, шевингование, резбонарезание и др.) Легкие условия обработки резанием черных металлов на станках и небольших автоматах
Илокат 152 (Posut 152)	M2.П2.ав	23—28	180	
Илокат 153 (Posut 153)	M3.П3.ав	130—140	200	Резание черных металлов в тяжелых условиях
Илокат 154 (Posut 154)	M2.П3	32—38	185—189	

Наименование СОТС	Классификационное обозначение СОТС (ИСО 6743/7)	Вязкость кинематическая, мм ² /с, при 40°С	Температура вспышки в открытом тигле, °С, не ниже	Область преимущественного применения
Илокат 155 (Poscut 155)	M3.П2	42	185	Различные операции обработки резанием углеродистых, легированных сталей и цветных металлов; смазка станков Резание черных и цветных металлов; смазка станков
Илокат 156 (Poscut 156)	M3.П3.ав	68—80	190	
Илокат 170 (Poscut 170) Илокат 171 (Poscut 171)	M1.П3.авв	7—11	122—124	Обработка сталей на токарных автоматах; глубокое сверление, развертывание сталей и никелевых сплавов, сплавов цветных металлов
Илокат 201 (Poscut 201)	M2.П3.6в	11—15	120—122	Зубонарезание, протяжка, другие виды обработки резанием сплавов никеля, хрома, марганца и других труднообрабатываемых металлов, Зубонарезание, протяжка, различные виды обработки резанием сплавов никеля, хрома, марганца и других труднообрабатываемых металлов Фрезерование, зубонарезание, профильное шлифование легированных сталей и другие операции резания Точная обработка сплавов цветных металлов на копировальных станках Операции цилиндрического и плоского хонингования и притирка чугунов различных марок. Рекомендуются также при автоматной обработке (фрезерование, резьбонарезание, зубонарезание, точение) алюминия и его сплавов
Илокат 350 (Poscut 350)	M2.П2.6в	21—26	185	
Илокат 371 (Poscut 371)	M2.П3.авв	31—35	176	
Илокат 401 (Poscut 401) Илокат 430 (Poscut 430)	M1.П1.авв M1.П2.а6	7—11 4—5	154 126	
Илокат 431 (Poscut 431) Илокат 433 (Poscut 433) Илокат 460 (Poscut 460) Илокат 461 (Poscut 461) Илокат 480 (Poscut 480) Илокат 482 (Poscut 482) Илокат 484 (Poscut 484)	M2.П1.6 M3.П1.6 M2.П1.а M2.П2.а M1.П1.ав6 M2.П2.а6 M1.П3.а6	21—25 50—56 21—26 21—26 7—8 27—30 7—8	185 190 185 188 154 171 132	
Илокат 501 (Poscut 501)	M2.П3.а6	20	155	Протягивание никелевых сплавов, жаропрочных и коррозионно-стойких сталей, операции резьбонарезания этих же материалов, чистовая обработка титановых сплавов Нарезание резьбы метчиками
Илокат 502 (паста) (Poscut 502)	—	—	190	
Илокат 505 (Poscut 505) Илокат 521 (Poscut 521)	M3.П3.а M3.П3.авв	47—50 175—188	190 218	Различные операции обработки резанием черных и цветных металлов
Илокат 599 (Poscut 599) Илоброд 67 (Pobroach 67) Илоброд 202 (Pobroach 202)	M3.П3 M2.П3.а6 M1.П3.авв	147 22—26 5—7	222 75 135	

Наименование СОТС	Классификационное обозначение СОТС (ИСО 6743/7)	Вязкость кинематическая, мм ² /с, при 40 С	Температура вспышки в открытом тигле, С, не ниже	Область преимущественного применения
Илоброк 219 (Ilobroach 219) Илоброк 223 (Ilobroach 223)	M2.П3.а6	15—18 11—14	140 138	Протягивание труднообрабатываемых металлов в тяжелых условиях
Илоброк 11 (Ilobroach 11)	M2.П4.а6	15—17	135	Тяжелые условия протягивания, зубонарезания, обработки фасонными резцами никелевых сплавов, труднообрабатываемых бронз, коррозионно-стойких сталей; высокоскоростное протягивание аустенитных сталей
Илоброк 13 (Ilobroach 13)	M1.П3.абв	5—7	135	Протягивание жаростойких, коррозионно-стойких и среднеуглеродистых сталей и никелевых сплавов в тяжелых условиях резания
Илогринд 101 (Ilogrind 101) Илогринд 102 (Ilogrind 102)	M2.П3.ав M3.П3	35—39 110—115	179 185	Шлифование с малым снятием металла и обработка резанием деталей небольших размеров Шлифование резьб, зубьев, упрочненных поверхностей
Илогринд 480 (Ilogrind 480) Илогринд 481 (Ilogrind 481) Илогринд 483 (Ilogrind 483)	M1.П1.а6 M2.П2.а6 M2.П3.а6	4—6 22—26 26	126 198 198	Бесцентровое шлифование и другие виды шлифования металлов

Хонило 130 (Honilo 130)	M1.П3.абв	8—11	126	Хонингование чугунов и сталей, точные операции лезвийной обработки сталей (сверление и фрезерование на одношпиндельных и небольших высокоскоростных автоматах)
Хонило 131 (Honilo 131)	M1.П1.абв	5—6	115	Прецизионное хонингование подшипников
Хонило 170 (Honilo 170)	M1.П3.абв	6—7	128	Хонингование алмазными брусками в тяжелых условиях; сверление алюминия, фосфористых бронз, никелевых сплавов
Хонило 401 (Honilo 401)	M1.0	4—5	128	Хонингование чугуна
Хонило 460 (Honilo 460) Хонило 500 (Honilo 500)	M1.П2.а M3.0	5—6 190—195	125 182	Цилиндровое хонингование чугунов, операции плоского хонингования

Фирма «Бритиш Петролеум»

Энеграл CFM 50 (Energol CFM 50)	M2.П1.6а	21—24	—	Чистовая токарная обработка легкообрабатываемых сталей, цветных металлов и их сплавов
Энеграл CFM 55 (Energol CFM 55)	M2.П3.ав	24—27	—	Обработка на токарных автоматах алюминия, цветных металлов, легкообрабатываемых сталей
Энеграл CFS 35 (Energol CFS 35)	M2.П4.6	32—35	—	Обработка на токарных автоматах алюминиевых сплавов; глубокое сверление, фрезерование, хонингование и профильное шлифование сталей
Энеграл CFC 50 (Energol CFC 50)	M2.П2.абв	18—22	—	Фрезерование, протягивание, глубокое сверление, профильное шлифование легких и цветных металлов и сплавов, углеродистых и легированных сталей средней и высокой прочности

Наименование СОТС	Классификационное обозначение СОТС (ИСО 6743/7)	Вязкость кинематическая, мм ² /с, при 40°С	Температура вспышки в открытом тигле, С, не ниже	Область преимущественного применения
Энергол CFS 35 (Energol CFS 35) Энергол CFS 55 (Energol CFS 55)	M1 П3.ав M2.П2.ав	8—13 25—29	—	Обработка на токарных автоматах, нарезание резьбы, зубьев, профильное шлифование углеродистых и легированных сталей
Энергол CFS 80 (Energol CFS 80)	M3.П3.ав	40—56	—	Обработка на токарных автоматах, нарезание резьбы, зубьев, протягивание, резьбошлифование вязких легированных и высокопрочных сталей
Энергол CFS 100 (Energol CFS 100)	M3.П2.аб	57—68	—	Обработка на токарных автоматах, нарезание резьбы, зубьев, протягивание коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов
Энергол LM-C (Energol LM-C)	M1.П1.а	4—5	136	Токарная обработка алюминия и магния
Энергол CF-HL 70 (Energol CF-HL 70)	M2.П1.б	32—38	205	Обработка на токарных автоматах легких и цветных металлов и сплавов, сталей низкой и средней прочности; в качестве смазки в гидравлических системах станков
Севора 7 (Sevora 7)	M1.П2.в	5—6	120	Глубокое сверление, нарезание зубьев, накатывание резьбы, протягивание и шлифование сталей. Не рекомендуется применять при обработке цветных металлов
Севора 10 (Sevora 10)	M1.П2	8—11	132	Хонингование в тяжелых условиях
Севора 22 (Sevora 22)	M2.П2.в	22—24	185	Обработка на токарных автоматах, нарезание зубьев, шлифование резьбы

Севора 32 (Sevora 32)	M2.П2.ав	26—32	188	Обработка на токарных автоматах, фрезерование, сверление черных и цветных металлов
Севора 46 (Sevora 46)	M3.П2.ав	48—56	204	Обработка на токарных автоматах, накатка резьбы, шлифование в сравнительно тяжелых условиях
Севора 68 (Sevora 68)	M3.П2.абв	80—99	208	Тяжелые операции обработки резанием высокопрочных металлов. Не рекомендуется для обработки цветных металлов
Лумаро 7 (Lumaro 7)	M1.П2.в	6—7	129	Аналогичны по назначению Севора 7, Севора 22, Севора 46, Севора 68, но отличаются от них прозрачностью и инертностью к цветным металлам
Лумаро 22 (Lumaro 22)	M2.П2.ав	20—22	192	
Лумаро 46 (Lumaro 46)	M3.П2.ав	40	196	
Лумаро 68 (Lumaro 68)	M3.П2.абв	55	199	

Безора 22 (Bezora 22) Безора 22х (Bezora 22х)	M2.0	21—23	192—202	Легкие операции обработки на токарных автоматах меди, алюминия и их сплавов
Цилора 10 (Cilora 10)	M1.П2.аб	9—10	117	Протягивание высокопрочных и жаропрочных сплавов (нимоник и др.) и титана
Цилора 22 (Cilora 22)	M2.П2.бв	18—19	177	Шлифование зубьев, высокоскоростная обработка прочных сталей
Цилора 32 (Cilora 32)	M2.П3.абв	32—35	192	Обработка на токарных автоматах в тяжелых условиях средне-, высокоуглеродистых и других сталей

Амлия — Голландия

Фирма «Шелл»

Макрон Ойл А (Macron Oil A)	M1.П1.аб	3—4	108	Хонингование сталей, сверление и расточка легких и цветных металлов
Макрон Ойл АМ** (Macron Oil АМ**)	M1.П2.абл	11—12	118	

Наименование СОТС	Классификационное обозначение СОТС (ИСО 6743/7)	Вязкость кинематическая, мм ² /с, при 40 С	Температура вспышки в открытом тигле, С, не ниже	Область преимущественного применения
Макрон Ойл В (Macron Oil В)	M2.П2.ав	26—28	180	Обработка на токарных автоматах легких и цветных металлов и сплавов, легкообрабатываемых сталей (нарезание резьбы, зубьев, протягивание, резбошлифование)
Макрон Ойл ВМ** (Macron Oil ВМ**)	M2.П2.авл		190	
Макрон Ойл С (Macron Oil С)	M2.П1.ав	28	180	Обработка на токарных автоматах, отрезка, нарезание зубьев, нарезание и накатка резьбы, протягивание, резбошлифование труднообрабатываемых цветных металлов и сплавов, углеродистых и легированных сталей низкой и средней прочности
Макрон Ойл СМ** (Macron Oil СМ**)	M2.П2.авл	27—29	220	
Макрон Ойл 32 (Macron Oil 32)	M2.П1.бв	32	195	Обработка на токарных автоматах цветных металлов, углеродистых и легированных сталей малой, средней и высокой прочности; для смазывания станков и в качестве смазки в гидравлических системах станков
Макрон Ойл М32 (Macron Oil М32)**	M2.П2.бвл	31—34	235	
Гариа Ойл А (Garia Oil А)	M1.П4.абв	8—9	100	Протягивание, нарезание резьбы, зубонарезание на легированных высокопрочных коррозионно-стойких и жаропрочных сталях и сплавах
Гариа Ойл АМ** (Garia Oil АМ**)	M1.П4.абвл	10—12	154	
Гариа Ойл ВМ** (Garia Oil ВМ**)	M3.П2.ав	25	208	Обработка на токарных автоматах, нарезание зубьев, резбошлифование углеродистых и легированных сталей средней прочности
Гариа Ойл С (Garia Oil С)	M2.П3.ав	27	206	Обработка на токарных автоматах, нарезание зубьев, нарезание и накатывание резьбы, протягивание, резбошлифование легированных высокопрочных, коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов
Гариа Ойл СМ** (Garia Oil СМ**)	M2.П3.авл	26—28	220	

Гариа Ойл Д (Garia Oil D)	M2.П2.бв	18	180	Обработка резанием черных металлов
Гариа Ойл ДМ** (Garia Oil DM**)	M2.П2.бвл	18—20	222	
Гариа Ойл Н (Garia Oil Н)	M2.П3.ав	10—15	157	Глубокое сверление, прорезка пазов, скоростное нарезание и шевингование зубьев на высокопрочных, коррозионно-стойких и жаропрочных сталях и сплавах
Гариа Ойл Т (Garia Oil Т)	M1.П2.ав	11	149	Глубокое сверление, шлифование труднообрабатываемых металлов
Пелла Ойл L (Pella Oil L)	M1.0	—	—	Лезвийная обработка алюминия и магния, электроэрозионная обработка металлов

Испания

Фирма «Хиспано Химика S.A»

Комбат 521 (Combat 521)	M2.П2.абг	20—34	180	Лезвийная и абразивная обработка черных и цветных металлов
Комбат В (Combat В)	M2.П2.абв	22—26		Лезвийная обработка сталей и сплавов алюминия
Комбат А (Combat А)	M2.П3.абв	17—24		Фрезерование, глубокое сверление, зубонарезание, шлифование, автоматная обработка сталей
Комбат R (Combat R)	M2.П2.аб	14—20		Лезвийная обработка сталей, сплавов меди
Комбат 111 (Combat 111)	M2.П3.абвг	28—38	190	Лезвийная обработка углеродистых; коррозионно-стойких и других сталей, сплавов алюминия
Комбат 300 (Combat 300)	M2.П2.абв	14—18	170	Лезвийная обработка мягких и твердых сталей
Комбат MM (Combat MM)	M1.П2.аб	2,5—3,7	100	Абразивная обработка стали и сплавов меди
Комбат К (Combat К)	M2.П3.абв	31—36	190	Лезвийная обработка коррозионно-стойких и других легированных сталей с высоким содержанием никеля
Комбат 34 (Combat 34)	M3.П3.абв	144—165	200	Ручное нарезание резьбы на сталях

Наименование СОТС	Классификационное обозначение СОТС (ИСО 6743/7)	Вязкость кинематическая, мм ² /с, при 40 °С	Температура вспышки в открытом тигле, °С, не ниже	Область преимущественного применения
Комбат 275 (Combat 275)	M1.П1.	3,7—7,0	110	Электроэрозионная обработка сталей
Комбат 3102 (Combat 3102)	M2.П2.а	29—34	170	Лезвийная обработка алюминия и его сплавов
Комбат СР (Combat СР)	M1.П2.б	5,3—7,5	110	Операции шлифования и абразивного полирования (ремнями) сталей и чугунов
Комбат 345 (Combat 345)	M2.П3.абв	14—20	140	Операции зубодобления и глубокого сверления сталей и чугунов
Комбат BR-25 (Combat BR-25)	M2.П3	14—21	170	Протягивание в тяжелых условиях, высокоскоростные операции лезвийной обработки сталей
Комбат спешисл (Combat Special)	M3.П4.абв	49—57	180	Тяжелые операции лезвийной обработки стали, фрезерование алюминия, нарезание резьбы на чугунах

Швейцария

Фирма «СМТ Интернешнл»

Куул 0-73 (Cool 0-73)	M1.П2.абв	5—7	135	Глубокое сверление алюминия и его сплавов
Куул 1-71	M1.П2	7—9	150	Хонингование высокопрочных и высоковязких сталей и сплавов
Куул 1-90 (Cool 1-90)	M1.П2.а	4—5	105	Хонингование чугуна, сталей, меди и ее сплавов
Д 960	M3.П4.абв	47—60	175	Операции протягивания сталей

Плас 1-721 (Plus 1-721)	M2.П3.абв	15—22	145	Высокоскоростное (24 м/мин) вертикальное протягивание сталей (в том числе высоколегированных)
Плас 1-721 ДВ (Plus 1-721 ДВ)		15—22	160	Высокоскоростное (30 м/мин) вертикальное протягивание сталей
Плас 4-85 (Plus 4-85)	M2.П1	15—22	165	Хонингование сталей и чугунов
Суперкат 3-95 (Superkut 3-95)	M1.П3.абв	8—11	150	Глубокое сверление сталей и чугунов
Суперкат 3-95.1 (Superkut 3-95.1)	M2.П3	11—15	160	Глубокое сверление сталей и чугунов. По сравнению с Суперкат 3-95 обеспечиваются более высокие скорости резания и качество обработанной поверхности
Суперкат 0-97 (Superkut 0-97)	M2.П2.а	24—27	180	Высокоскоростное шлифование, глубокое сверление, высокоскоростное точение сталей, меди и ее сплавов
Суперкат 6-80NV (Superkut 6-80NV)	M2.П3.абв	22—27	160	Зубонарезание, зубодобление, зубофрезерование широкого ассортимента сталей, меди и ее сплавов
Суперкат 8-27 (Superkut 8-27)				
Топкат 0-61 (Topkut 0-61)	M2.П3.ав	15—18	150	Протягивание, глубокое сверление, резбонарезание, другие операции резания титана и его сплавов
Юниплас 4-35 (Uniplas 4-35)	M2.П4.абв	16—21	140	Глубокое сверление сталей и чугунов
Юниплас 5-30 (Uniplas 5-30)	M2.П4	21—27	155	Глубокое сверление высоколегированных коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов
Юниплас 7-15 (Uniplas 7-15)	M1.П3.аб	7—10	146	Глубокое сверление цветных металлов
Юниплас 8-212N (Uniplas 8-212N)	M2.П3.абв	26—32	165	Протягивание и глубокое сверление сталей и сплавов
Юниплас 8-27 (Uniplas 8-27)	M2.П4.абвг	18—23	130	

Наименование СОТС	Классификационное обозначение СОТС (ИСО 6743/7)	Вязкость кинематическая, мм ² /с, при 40 °С	Температура вспышки в открытом тигле, °С, не ниже	Область преимущественного применения

США

Фирма «Эксон»

Дортан 12 (Dortan 12)	M2.П1.6	23—25	177	Обработка на токарных автоматах легко- и среднеобработываемых сталей, легких и цветных металлов
Дортан 13 (Dortan 13)	M2.П1.в	26—31	182	Обработка резанием черных металлов, сплавов на основе меди и алюминия
Дортан 14 (Dortan 14)	M2.П1.6в	28—32	177	Обработка на токарных автоматах, зубообработка, нарезание резьбы, протягивание, фрезерование, сверление, глубокое сверление цветных металлов, низко- и среднепрочных сталей
Дортан 32 (Dortan 32)	M2.П1.6в	15—18	146	Обработка (в том числе и на токарных автоматах) резанием сталей и сплавов нормальной обрабатываемости
Дортан 33 (Dortan 33)	M2.П3.авг	15—20	146	Чистовое точение, зубонарезание, сверление, протягивание средне- и высокопрочных коррозионно-стойких жаропрочных и жаростойких сталей и сплавов, операции шлифования всех сортов сталей
Дортан 34 (Dortan 34)	M2.П3.абвг	23—28	182	Обработка (в том числе и на токарных автоматах) средне- и высокопрочных сталей на операциях нарезания резьбы, зубообработки, протягивания, фрезерования, сверления, точения
Дортан 36 (Dortan 36)	M3.П2.6в	38—45	171	Протягивание, нарезание и шлифование резьбы
Дортан 45 (Dortan 45)	M3.П3.абв	38—44	170	Операции обработки резанием черных металлов

Продолжение

Дортан 51 (Dortan 51)	M2.П4.6	13—15	146	Обработка коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов, титана и его сплавов
Дортан 53 (Dortan 53)	M3.П2.а6	38—44	178	Обработка цветных металлов, низко- и среднепрочных сталей на операциях зубообработки, нарезания резьбы, протягивания, сверления, фрезерования и точения на автоматах
Дортан 56 (Dortan 56)	M1.П1.6	4—5	138	Хонингование сталей в тяжелых условиях
Фанокс 32 (Fanox 32)	M1.П1.а	4—5	129	Обработка лезвийным инструментом сплавов легких и цветных металлов (после чистовой обточки, сверления, фрезерования, нарезания резьбы), ленточное и круглое шлифование и хонингование сталей
Фанокс 38 (Fanox 38)	M2.П1.а	21—26	177	Обработка резанием цветных металлов и низкопрочных сталей на различных операциях за исключением операций глубокого сверления и шлифования
Фанокс 40 (Fanox 40) Фанокс 46 (Fanox 46)	M2.П2.а	21—26	170	Обработка резанием легкообработываемых сталей; тяжелые условия лезвийной обработки цветных металлов
Пеннекс 37 (Pennex 37)	M2.П2.ав	14—15	—	Обработка резанием вязких сплавов в тяжелых условиях. Часто заменяется Дортаном серии 30
Пеннекс 40 (Pennex 40)	M2.П1.ав	21—26	173	Нарезание резьбы и протягивание сталей в тяжелых условиях. Часто заменяется Дортаном серии 30
Пеннекс 47 (Pennex 47)	M3.П3.абв	38—42	185	Тяжелые условия обработки резанием сталей, включая коррозионно-стойкие и жаростойкие

Фирма «Мобил Ойл»

Мобилмет 22 (Mobilmet 22)	M1.П1.авг	4—5	131	Хонингование и шлифование сталей
Мобилмет 423 (Mobilmet 423)	M2.П2	16,1	180	Универсальное СОТС с антитупными свойствами для резания сталей и цветных металлов
Мобилмет 426 (Mobilmet 426)	M2.П2	34,6	210	Фрезерование обкаткой и обработка на автоматах сталей
Мобилмет 455 (Mobilmet 455)	M2.П3.абв	26,8	206	Тяжелые операции лезвийной обработки черных и цветных металлов

Продолжение

Наименование СОРС	Классификационное обозначение СОРС (ИСО 6743/7)	Вязкость кинематическая, мм ² /с, при 40 °С	Температура вспышки в открытом тигле, °С, не ниже	Область преимущественного применения
Мобилмет 458 (Mobilmet 458)	M3.P3	47,2	220	Многоцелевое СОРС. Обработка резанием черных металлов. Используется в качестве гидравлической жидкости Универсальное СОРС. Обработка сталей на автоматах
Мобилмет 734 (Mobilmet 734)	M2.P3	26,0	170	
Мобилмет 735 (Mobilmet 735)	M2.P4	31,0	160	Тяжелые операции обработки сталей на автоматах, зубодолбление Тяжелые операции обработки сталей резанием на обкаточных фрезерных протяжных и долбежных станках
Мобилмет 737 (Mobilmet 737)	M3.P4	38,0	216	
Мобилмет альфа (Mobilmet Alpha)	M2.P2.ав	20,0	200	Глубокое сверление коррозионно-стойких сталей, жаростойких сплавов
Мобилмет сигма (Mobilmet Sigma)	M2.P2.ав	31,0	205	Широкий круг операций лезвийной обработки сталей и сплавов
Мобилмет гамма (Mobilmet Gamma)	M2.P2.абв	36,0	220	
Мобилмет омега (Mobilmet Omega)	M3.P4.абв	46,0	220	Тяжелые операции лезвийной обработки сталей и сплавов
Мобилмет омикрон (Mobilmet Omicron)	M2.P2.	18,0	195	Новая серия неактивных СОРС для обработки резанием цветных металлов, сталей и сплавов
Мобилмет ипсилон (Mobilmet Ipsilon)	M1.P2	10,0	175	
Мобилмет ню (Mobilmet Nu)	M2.P2	36,0	205	

Вакмил ОЗС (Vacmul O3C)	M1.P1.ав	4,6	135	Хонингование серого чугуна, шлифование и другие легкие операции обработки резанием черных металлов Продукт аналогичен Мобилмет 455, но не содержит противотуманных присадок Продукт аналогичен Мобилмет 458, но не содержит противотуманных присадок Специальное шлифовальное СОРС для станков «Бендикс» фирмы «Эксцелло» Шлифование канавок сверл из высоколегированных сталей
Вакмил 12А6 (Vacmul 12A6)	M2.P3.абв	29,0	195	
Вакмил 18 С (Vacmul 18 C)	M3.P3.абв	47,0	220	
Вакмил 176 М (Vacmul 176 M)	M2.P2	29,0	170	
Вакмил 2105 (Vacmul 2105)	M2.P3	34,8	222	

* Температура вспышки в закрытом тигле.

** Содержат противотуманные присадки, физические характеристики остаются без изменения.

П2. Ассортименты водосмешиваемых СОРС, выпускаемых предприятиями и фирмами различных стран для обработки металлов резанием

Наименование СОРС	Классификационное обозначение СОРС (ИСО 6743/7)	Вязкость кинематическая, мм ² /с, при 40 °С	рН 5%-ного водного раствора	Область преимущественного применения
Болгария				
Эмульсол ИБХ-1	(L-MAA)	≥ 80	8,0—9,5	Широкий круг операций лезвийной и абразивной обработки чугунов, легкообрабатываемых углеродистых и низколегированных сталей, сплавов алюминия и меди Точение, растачивание, сверление, глубокое сверление, резбонарезание среднеобрабатываемых чугунов, сталей (в том числе высоколегированных)
Эмульсол ИБХ-2	(L-MAD)	≥ 200	8,0—9,5	

Наименование СОТС	Классификационное обозначение СОТС (ИСО 6743/7)	Вязкость кинематическая, мм ² /с, при 40 °С	рН 5%-вого водного раствора	Область преимущественного применения
Эмульсол ЛТ-13, Эмульсол ЛТ-14, Эмульсол ПС-1	(L-MAC) (L-MAC) (L-MAB)	≥ 30 ≥ 30 ≥ 140	8,5—10,0	Широкий круг операций лезвийной и абразивной обработки чугунов, легкообрабатываемых углеродистых и низколегированных сталей, сплавов алюминия и меди Шлифование, в том числе профильное и скоростное чугунов, углеродистых и легированных сталей, жаропрочных сталей и сплавов, сплавов титана, никеля, алюминия, меди, заточка режущего инструмента
Синтол В-2	(L-MAF)	≥ 6	9,0—10,5	

Венгрия

Комемул 22 (Komemul 22)	(L-MAA)	29	7,5—9,5	Широкий круг операций лезвийной и абразивной обработки нормально обрабатываемых сталей, чугунов, цветных металлов Лезвийная обработка труднообрабатываемых сталей и сплавов Лезвийная и абразивная обработка нормально обрабатываемых сталей
Комемул 22 EP (Komemul 22 EP)	(L-MAC)	32	7,5—9,5	
Комемул ТК (Komemul TK)	(L-MAF)	45	7,5—9,5	
Комемул TS (Komemul TS)	(L-MAC)	—	7,5—9,5	
Фуrolай 2 (Fürolaj 2)	(L-MAA)	32	8,0—9,5	Шлифование черных металлов

Польша

Эмульгол ES (Emulgol ES)	(L-MAA)	≤ 30*	9,5	Лезвийная обработка черных металлов

Эмульгол S (Emulgol S)	(L-MAC)	≤ 26*	8,0—9,5	Лезвийная обработка черных и цветных металлов и сплавов Обработка алюминия и его сплавов
Алюмол (Alumol)	(L-MAA)	20—37	7,5—9,5	
Эмульгринд-1 (Emulgrind-1)	(L-MAF)	≤ 35*	8,5—9,5	Шлифование сталей, цветных металлов и сплавов
Феррогринд-R (Ferrogrind-R)	(L-MAD)	≤ 60*	9,0—10,0	Шлифование сталей и чугунов
Эмулькол EP (Emulcol EP)	(L-MAF)	≤ 100*	8,0—9,5	Точение, сверление, глубокое сверление чугунов, углеродистых и легированных сталей, труднообрабатываемых материалов
Эмулькол S (Emulcol S)			8,5—9,5	Точение, фрезерование, сверление, резьбонарезание чугунов, углеродистых сталей
Хидрокол В (Hydrocol B)	(L-MAG)	≤ 100*	8,5—9,5	Шлифование углеродистых и низколегированных сталей

Румыния

PE1 (PE1A, PE1B)	(L-MAA)	45*	7,5—8,5	Точение, фрезерование, развертывание, сверление, шлифование сталей, чугунов, сплавов меди и алюминия Точение, фрезерование и развертывание сталей в тяжелых условиях Различные операции обработки металлов в тяжелых условиях
PE2	(L-MAB)	45*	7,0—8,0	
PE5EP	(L-MAD)	45*	7,5—8,5	

Чехия и Словакия

Эмульзин Н (Emulzin H)	(L-MAA)	25—38*	6,1—7,6	Лезвийная обработка нормально обрабатываемых сталей и цветных металлов
Т EL D 18 D 18 P	(L-MAB)	30—38*	7,0—8,5	Лезвийная и абразивная обработка нормально обрабатываемых сталей
		36—46*	8,0—9,0	
		28—38*	7,0—8,5	
		28—38*	7,5—9,0	

Наименование СОТС	Классификационное обозначение СОТС (ИСО 6743/7)	Вязкость кинематическая, мм ² /с, при 40 °С	рН 5%-ного водного раствора	Область преимущественного применения
Аквол (Akvol)	(L-MAF)	28—35*	7,6—8,2	Лезвийная обработка средне- и труднообрабатываемых сталей и сплавов Лезвийная обработка алюминия и его сплавов Шлифование нормально и труднообрабатываемых сталей
Алекс (Alex)		10—13	7,0—8,5	
Робол (Robol)		35—45	7,0—8,5	
Эмульгирующая смазка	(L-MAE)	—	8,0—9,0	Лезвийная обработка нормально и среднеобрабатываемых сталей
Диол (Diol)	(L-MAH)	2—3	7,2—8,5	Лезвийная и абразивная обработка нормально обрабатываемых сталей и чугунов
Стабофер IBL (Stabofer IBL)	(L-MAG)	20—30	8,5—9,0	Шлифование конструкционных и инструментальных сталей

Германия

Предприятия восточных земель

КС 20	(L-MAG)	10*	9,0—11,0	Шлифование алмазными кругами
Ферросол 100 (Ferrosol 100)	(L-MAH)	≤ 5*	9,0—10,0	
Эмультол В (Emultol B)	(L-MAB)	13,5—18,5*	8,2—8,7	Широкий круг операций лезвийной обработки черных и цветных металлов, не пригодны для обработки магния и его сплавов
WE 150 LF	(L-MAB)	13,5—18,5*	7,0—8,5	
Ферролан 80 BF (Ferrolan 80 BF)	(L-MAC)	18,3—23,0*	8,0—8,5	

WE 161CP	(L-MAD)	25—35*	7,5—8,5	Отрезка круглой пилой, обработка деталей сложных форм многолезвийным инструментом, другие тяжелые операции резания черных металлов Нарезание резьбы на трубах, холодная прокатка сталей, горячая прокатка алюминия
FEU 19C		16—22*	≥ 8,8	

Фирма «Фукс минеральольверке GmbH

Ратак МК 3 (Ratak MK 3)	Э1.П2	—	9,0—9,2	Черновая лезвийная обработка и шлифование сталей
Ратак МК 6 (Ratak MK 6)	Э1.П2	—	9,1—9,3	В централизованных системах при черновой лезвийной обработке и шлифовании сталей и чугунов
Ратак МК 60 (Ratak MK 60)	Э1.П2	—	9,2—9,4	Черновая лезвийная обработка и шлифование сталей
Ратак МК 12 (Ratak MK 12)	Э1.П2	—	9,3—9,5	Черновая лезвийная обработка и шлифование сталей; стабильна в воде с высокой жесткостью
Ратак МК 24 (Ratak MK 24)	Э1.П2	—	9,3—9,5	Черновая лезвийная обработка и шлифование сталей; используется в централизованных системах подачи СОТС
Ратак МКВ (Ratak MKB)	Э1.П2	—	7,0—7,5	Черновая лезвийная обработка и шлифование сплавов алюминия и меди, чувствительных к воздействию щелочей
Ратак МЕР (Ratak MER)	Э1.П2.а6	—	9,0—9,4	Обработка резанием черных металлов
Ратак МЕРС (Ratak MEPS)			9,0—9,3	
Ратак МЕР 19 (Ratak MER 19)	Э1.П2.а6г	—	9,0—9,4	Тяжелые условия лезвийной обработки черных и цветных металлов (глубокое сверление, протяжка, резьбонарезание)
Ратак МЕР 32 (Ratak MER 32)				

Наименование СОТС	Классификационное обозначение СОТС (ИСО 6743/7)	Вязкость кинематическая, мм ² /с, при 40 °С	pH 5%-ного водного раствора	Область преимущественного применения
Ратак TN 14 (Ratak TN 14)	Э2.П2	—	8,0—8,4	Обработка резанием сталей, чугунов и цветных металлов в тяжелых условиях Шлифование сталей и чугунов
Ратак транспарент (Ratak Transparent)	Э2.П2	—	9,2—9,5	
Ратак BSU (Ratak BSU)	Р3.П3	—	8,9—9,3	
Ратак GZA (Ratak GZA)	Р3.П3	—	9,0—9,2	Лезвийная обработка сталей в тяжелых условиях (резьбонарезание, протягивание, глубокое сверление)
Ратак дюрант 37 (Ratak Durant 37)	Э1.П2	—	8,8—9,3	Обработка резанием черных и цветных металлов на отдельных станках и в централизованных системах
Ратак дюрант 38 (Ratak Durant 38)				
Ратак дюрант 67 (Ratak Durant 67)				
Ратак резист 36 (Ratak Resist 36)	Э2.П1	—	9,0—9,2	Обработка черных и цветных металлов на отдельных станках и в централизованных системах
Ратак синтан 33 (Ratak Synthan 33)	Р3.П3	—	8,7—8,9	Тяжелые условия лезвийной и абразивной обработки сталей и чугунов
Ратак синтан 38 (Ratak Synthan 38)				

Фирма «Хенкель KGaA»

Мультиан 92-5 (Multan 92-5)	Э1.П2	—	8,5—8,7	Тяжелые условия обработки резанием различных металлов. Особенно рекомендуется при обработке алюминия и его сплавов
Мультиан 94-2 (Multan 94-2)	Э1.П2	—	8,5—8,7	
Мультиан 770 (Multan 770)	Э2.П2	—	9,0—9,3	Лезвийная и абразивная обработка сталей и чугунов. Применяется также при абразивной обработке меди и ее сплавов
Мультиан 780 (Multan 780)	Э2.П2	—	8,8—9,1	Обработка резанием металлов; используется в централизованных системах подачи СОТС
Мультиан 79-5 (Multan 79-5)	Э2.П2	—	9,1—9,4	
Мультиан 95-1 (Multan 95-1)	Э2.П2	—	9,0—9,3	Продукт универсального применения, особенно рекомендуется для обработки резанием металлов в тяжелых условиях
Мультиан 440 (Multan 440)	Р3.П2	—	9,1—9,4	
Мультиан 45-8 (Multan 45-8)			9,1—9,4	Абразивная обработка сталей и чугунов, режущей меди и ее сплавов (Мультиан 47-6 пригоден для операций скоростного шлифования)
Мультиан 47-6 (Multan 47-6)			9,0—9,3	

Фирма «Дойче Кастрол Индустриал GmBH»

Синтило R (Syntilo R)	Э1.П2.а6	440 ± 50	9,3—9,5	Лезвийная и абразивная обработка черных и цветных металлов
Синтило RS (Syntilo RS)	Э1.П1	200 ± 50	9,3—9,5	Лезвийная обработка сталей, алюминия и цветных металлов
DC 282	Э2.П2	340 ± 50	9,3—9,5	Лезвийная и абразивная обработка сталей и чугунов

Наименование СОТС	Классификационное обозначение СОТС (ИСО 6743/7)	Вязкость кинематическая, мм ² /с, при 40 °С	pH 5%-ного водного раствора	Область преимущественного применения
Куледж 267 NF (Cooledge 267 NF) Хисол CF (Hysol CF)	Э1.П2 Э1.П2	100 ± 50 440	9,0—9,2 9,2—9,4	Лезвийная обработка сталей, чугунов, алюминия и цветных металлов
Синтило 81 (Syntilo 81)	П3.П3	170 ± 50	9,2—9,4	Абразивная обработка черных и цветных металлов

Франция

Фирма ХАФА

Диссол 20 EP (Dissol 20 EP)	Э2.П2	—	8,7—8,8	Лезвийная обработка сталей, чугунов, сплавов алюминия и меди
Диссол S (Dissol S)	Э1.П1	—	9,0	Лезвийная обработка мягких сталей, чугунов, сплавов цинка, алюминия, меди, магния, титана, кадмия
Диссол SN 2 (Dissol SN2)	Э1.П1	—	8,9—9,1	Лезвийная и абразивная обработка мягких сталей, сплавов цинка, алюминия, магния, титана, тантала, кадмия
Флюид THP (Fluid THP)	Э2.П2	—	9,0—9,1	Универсальное полусинтетическое СОТС для лезвийной обработки черных и цветных металлов
Гринд (Grind)	Э2.П1	—	9,2—9,3	Абразивная обработка очень мягких и коррозионно-стойких сталей и чугунов

Милтрекс (Milrex)	Р3.П2	—	8,9—9,1	Лезвийная и абразивная обработка черных и цветных металлов (быстрорежущими сталями, карбидным, керамическим и алмазным инструментом)
Милусол (Milusol)	Э2.П1	—	9,1—9,3	Лезвийная (карбидным инструментом) и абразивная обработка сталей, чугунов, сплавов цинка, алюминия и меди
Милусол EP (Milusol EP)	Э2.П2	—	8,9—9,1	Универсальное полусинтетическое СОТС для лезвийной (всеми видами инструментов) и абразивной обработки черных и цветных металлов
Милусол EPS (Milusol EPS)	Э2.П2	—	9,1—9,2	Лезвийная (карбидным инструментом) и абразивная обработка сталей, чугунов, сплавов цинка, меди, алюминия, молибдена, кадмия

Фирма СОФОС

Алидол 3205 (Alidol 3205)	Э2.П2	—	8,0—8,5	Лезвийная обработка алюминия и его сплавов
Аквалуб HP (Aqualube HP)	Э1.П2	—	9,5—10,0	Гидравлическая жидкость и СОТС для резания металлов
Диафан 909 (Diaphone 909)	Э2.П1	—	9,0—9,5	Шлифование стекол
Диафан 960 (Diaphone 960)				
Фонтазол 63 (Fontasol 63)	Э2.П2	—	8,0—9,0	Абразивная и лезвийная обработка инструментальных сталей, цветных металлов
Фонтазол PS20 (Fontasol PS20)				

Наименование СОТС	Классификационное обозначение СОТС (ИСО 6743/7)	Вязкость кинематическая, мм ² /с, при 40 °С	pH 5%-ного водного раствора	Область преимущественного применения
Фонгазол 172 (Fontasol 172)	Э1.П2.а	—	8,1—8,4	Лезвийная обработка легко- и среднеобрабатываемых черных и цветных металлов
Фонгазол 206 (Fontasol 206)	Э2.П2	—	8,3—8,6	Лезвийная, абразивная обработка и штамповка сталей и цветных металлов
Фонгазол F 64 (Fontasol F 64)	Э2.П2.аб	—	8,2—8,5	Лезвийная обработка труднообрабатываемых сталей
Сеол 70 (Seol 70)	Р3.П1	—	8,5—9,0	Абразивная обработка чугунов
Сеол 70 АТО (Seol 70 АТО)	Р3.П2	—	8,5—9,2	Абразивная и лезвийная обработка материалов для ядерной энергетики (аустенитные стали и др.)
Сеол 77 (Seol 77)	Р3.П3	—	8,6—9,3	Лезвийная и абразивная обработка чугунов, сталей, цветных металлов
Солволайн 173 (Solvoline 173)	Э1.П3	—	8,2—8,5	Тяжелые операции лезвийной обработки сталей на автоматах и полуавтоматах
Солволайн 940 (Solvoline 940)	Э1.П3.абв	—	8,9—9,3	Абразивная и лезвийная обработка труднообрабатываемых сталей (в том числе коррозионно-стойких)
Солволайн 1035 (Solvoline 1035)	Э1.П3.абв	—	8,3—8,6	Тяжелые операции лезвийной обработки труднообрабатываемых сталей на автоматах и полуавтоматах (операции протягивания и др.)
Солволайн 1040 (Solvoline 1040)	Э1.П3.абвр	—	8,4—8,6	Лезвийная обработка труднообрабатываемых сталей и сплавов в тяжелых условиях
Солволайн АРВ (Solvoline АРВ)	Э1.П3	—	8,8—9,2	Лезвийная обработка труднообрабатываемых сталей, чугунов, сплавов меди и легких сплавов
Трансгринд SN (Transgrind SN)	Р3.П2	—	9,0—9,3	Операции плоского и круглого шлифования сталей

Трансгринд R (Transgrind R)
Трансгринд SP (Transgrind SP)
Супер трансгринд (Super Transgrind)

Э1.П2

9,0—9,5

Операции плоского и круглого шлифования черных и цветных металлов

Фирма «Мотул»

Супракосол (Supracosol)	Э1.0	—	8,8—9,2	Лезвийная обработка легкообрабатываемых сталей и цветных металлов
Супрако 5А27 (Supraco 5А27)	Э1.П1	—	8,4—8,7	Лезвийная обработка алюминия, его сплавов и цветных металлов; абразивная обработка вязких металлов
Супрако Синтек 219 Р (Supraco Syntec 219 Р)	Э1.П2	—	9,0—9,4	Лезвийная обработка нормально обрабатываемых черных металлов
Супрако 8ВХ1200 (Supraco 8ВХ1200)	Э1.П2	—	9,2—9,5	Лезвийная обработка труднообрабатываемых сталей, жаростойких и других сплавов
Супрако Sy 94 МР (Supraco Sy 94 МР)	Э2.0	—	9,3—9,5	Лезвийная обработка легкообрабатываемых черных и цветных металлов
Супрако Sy 98 МР (Supraco Sy 98 МР)	Э2.П1	—	9,1—9,3	Лезвийная обработка нормально обрабатываемых черных и цветных металлов
Супрако Sy 100Р (Supraco Sy 100Р)	Э2.П2	—	8,9—9,4	Лезвийная обработка труднообрабатываемых сталей и сплавов
Супрако Апезол 5Р (Supraco Apesol 5Р)	Э2.0	—	9,2—9,6	Полусинтетическое СОТС для лезвийной обработки черных и цветных металлов и дезинфицирующее средство для централизованных систем
Биокул 100 F (Biocool 100 F)	Р3.0	—	9,1—9,4	Лезвийная и абразивная обработка легкообрабатываемых черных и цветных металлов
Сафко Биосинтек 379 (Safco Biosyntec 379)	Р3.П1	—	8,8—9,2	Лезвийная и абразивная обработка нормально обрабатываемых сталей и сплавов
Сафко 3R37 (Safco 3R37)	Р3.0	—	9,4—9,6	Шлифование черных металлов на машинах без магнитных зажимов

Наименование СОТС	Классификационное обозначение СОТС (ИСО 6743/7)	Вязкость кинематическая, мм ² /с, при 40 °С	рН 5%-ного водного раствора	Область преимущественного применения
Сафко 3R59 (Saico 3R59)	P3.0	—	7,9—8,2	Шлифование черных и цветных металлов на машинах с магнитными зажимами и без них Жидкость для шлифования черных и цветных металлов и дезинфекции циркуляционных систем
Сафко 3RF68 (Saico 3RF68)	R3.0	—	9,3—9,6	

Амлия

Фирма «Барма-Кастрол»

Куледж BJ (Cooledge BJ) Куледж A (Cooledge A) Куледж FE (Cooledge FE)	Э1.0	—	9,8—10,0	Обработка резанием черных и цветных металлов. Широко используются в централизованных системах подачи СОТС
Куледж CB (Cooledge CB)	Э1.П1	—	7,0—7,8	Только для обработки меди и ее сплавов
Куледж AL (Cooledge AL)	Э1.П1	—	7,0—8,0	Обработка резанием алюминия и его сплавов
Супередж 4 (Superedge 4)	Э1.П2.6	—	10,0—10,5	Тяжелые условия обработки (фрезерование, наружное резбонарезание, зубонарезание, протягивание) черных и цветных металлов. Особенно рекомендуется для обработки алюминия и его сплавов
Супередж 7 (Superedge 7)	Э1.П3	—	9,6—9,8	Высокоэффективный заменитель масляных СОТС с противозадирными и противомыльными присадками в тяжелых условиях обработки резанием черных и цветных металлов, в том числе труднообрабатываемых

Супередж 9SR (Superedge 9SR)	Э1.П2.абв	—	9,5—9,7	Зубонарезание, протягивание, глубокое сверление высокопрочных и других труднообрабатываемых черных и цветных металлов. Во многих случаях заменяет масляные композиции
Синтило 2 (Syntilo 2)	P3.0	—	9,8—10,4	Шлифование чугуна, нелегированных и легированных сталей
Синтило 3 (Syntilo 3)	Э3.П1	—	9,9—10,3	Обработка резанием черных (кроме чугуна) и цветных металлов, а также стекла и керамики в централизованных системах подачи СОТС; стабильны в воде с высокой жесткостью
Клиредж AA (Cleardge AA)	Э2.0	—	10,0—10,2	Обработка резанием черных и цветных металлов
Клиредж E (Cleardge E) Клиредж BB (Cleardge BB)	Э2.0	—	9,5—10,0	
Клиредж NP (Kleardge NP)	Э2.0	—	9,5—10,0	Эквивалент Клиредж BB, но не содержит фенольных соединений
Клиредж EP284 (Cleardge EP284)	Э2.П1.6	—	10,0—10,4	Обработка резанием черных, цветных металлов, алюминия и его сплавов, керамики
Клиредж V.001 (Cleardge V.001)	Э2.П1	—	9,6—10,0	Обработка резанием черных и цветных металлов; используется в централизованных системах подачи СОТС; стабильно в воде различной жесткости
Алмаредж 50 (Almaredge 50)	Э2.0	—	9,0—9,5	По применению аналогично Клиредж AA
Клиредж CC (Cleardge CC)	Э2.П2	—	9,5—10,0	Тяжелые условия обработки резанием черных и цветных металлов
Синтило 4 (Syntilo 4)	P3.П1	—	8,6—9,0	Шлифование черных металлов, возможно применение и на других операциях
Синтило 5 (Syntilo 5)	P3.0	—	9,8—10,4	Шлифование сталей и чугунов
Синтило 7 (Syntilo 7), Синтило 8 (Syntilo 8)	P3.П1	—	8,6—9,2	Обработка резанием чугунов и сталей

Наименование СОТС	Классификационное обозначение СОТС (ИСО 6743/7)	Вязкость кинематическая, мм ² /с, при 40 °С	pH 5%-ного водного раствора	Область преимущественного применения
Синтило 12 (Syntilo 12)	P3.0	—	9,0—9,5	Обработка резанием черных и цветных металлов
Синтило 14 (Syntilo 14)	Э2.П1	—	9,8—10,0	Обработка резанием сталей и цветных металлов, керамики, спеченных карбидов
Хисол С (Hysol C)	P3.0	—	9,0—9,2	Шлифование сплавов цветных металлов и чугунов
Хисол М (Hysol M)	Э1.0	—	9,0—9,3	Обработка резанием черных и цветных металлов с использованием централизованных систем приготовления, подачи и очистки рабочих растворов СОЖ

Фирма «Бритиш Петролеум»

Энергол SB4 (Energol SB4)	Э1.0	—	9,0—9,5	Операции обработки резанием черных и цветных металлов
Федаро М (Fedaro M)	Э1.П1.в	—	8,8—9,0	Шлифование и притирка
Энергол SB40 (Energol SB40)	Э1.П1.6в	—	9,0—9,6	Обработка резанием труднообрабатываемых сталей и сплавов в тяжелых условиях
Энергол SB4EP (Energol SB4EP)	Э1.П1.ав	—	9,5—10,0	Обработка резанием в тяжелых условиях вязких прочных металлов и сплавов
Федаро Н (Fedaro H)	Э2.П1.в	—	8,8—9,0	Шлифование черных и цветных металлов
Федаро G (Fedaro G)	P3.0	—	9,0—9,5	
Энергол GF15 (Energol GF15)				

Кутора M2 (Cutora M2)	P3.П1	—	9,5—10,0	Обработка резанием черных металлов
Кутора GX (Cutora GX)	P3.П3	9,8	8,8—9,2	Абразивная обработка черных, цветных металлов, сплавов алюминия (не мягких и не содержащих кремния)
Кутора MX (Cutora MX)	P3.П3	4,8	8,8—9,2	Широкий круг операций лезвийной обработки металлов с нормальной и средней обрабатываемостью
Кутора HX (Cutora HX)	P3.П4	17,0	8,8—9,2	Широкий круг операций лезвийной обработки черных и цветных металлов. Особенно рекомендуется при обработке твердосплавных материалов

Англия — Голландия

Фирма «Шелл»

Дромус Ойл В (Dromus Oil B)	Э1.П1.а	—	8,2—9,3	Обработка резанием нормально обрабатываемых сталей, алюминия, меди и их сплавов. Используется также для шлифования металлов и в качестве огнестойкой гидравлической жидкости
Дромус Ойл BS (Dromus Oil BS)	Э1.П1.ав	—	9,0—9,5	Шлифование черных и цветных металлов
Дромус Ойл D (Dromus Oil D)	Э1.П2.ав	—	9,5—10,0	Точение, сверление, нарезание резьбы, протягивание коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов
Дромус Ойл F (Dromus Oil F)	Э2.П2.ав	—	8,0—8,5	Обработка резанием черных и цветных металлов
Дромус Флюид Н (Dromus Fluid H)	P3.П1	—	9,0—9,5	Шлифование черных металлов
Дромус Флюид Е (Dromus Fluid E)	Э2.П1.а	79,5	9,5—10,0	Обработка резанием черных и цветных металлов, в том числе титана и других редких металлов
Металина Флюид С (Metalina Fluid C)	Э2.П2	54,1	9,0—9,5	Тяжелые операции резания черных металлов. Не рекомендуется для обработки меди и ее сплавов
Металина Флюид EP (Metalina Fluid EP)	P3.П1	—	9,2—9,8	Шлифование, в частности шлифование алмазными кругами
Металина Флюид GC (Metalina Fluid GC)				

Наименование СОТС	Классификационное обозначение СОТС (ИСО 6743/7)	Вязкость кинематическая, мм ² /с, при 40 °С	рН 5%-ного водного раствора	Область преимущественного применения
Металина Флюид GR (Metalina Fluid GR)	P3.П1	—	9,0—9,5	Шлифование черных и цветных металлов
Металина Флюид МР (Metalina Fluid MP)	Э2.П1	—	9,0—9,5	Обработка резанием черных и цветных металлов. Длительная работа с медью и ее сплавами не желательна

Голландия

Фирменная группа «Бехем»

Авантин 500 (Avantin 500)	Э2.П1	280**	9,3	Абразивная обработка сталей, чугунов, сплавов меди; легкие операции лезвийной обработки Тяжелые операции лезвийной обработки сталей, чугунов, сплавов меди и алюминия Массовые операции лезвийной обработки сталей, чугунов, сплавов меди и алюминия Лезвийная обработка низколегированных и автоматных сталей Лезвийная обработка сталей, чугунов, сплавов алюминия на многошпиндельных автоматах и обрабатывающих центрах Обработка резанием сталей и чугунов на многошпиндельных автоматах и обрабатывающих центрах Массовые операции лезвийной и абразивной обработки черных и цветных металлов Универсальное СОТС для операций шлифования сталей и чугунов Шлифование черных и цветных металлов, возможно использование при лезвийной обработке
Авантин 600 (Avantin 600)	Э2.П3	360**	9,2	
Авантин 700 (Avantin 700)	Э1.П2	130**	9,0	
Авантин 720 (Avantin 720)	Э1.П2	500**	9,3	
Авантин 740 (Avantin 740)	Э2.П2	500**	9,3	
Авантин 750 (Avantin 750)	Э1.П1	250**	9,2	
Авантин 800 (Avantin 800)	Э2.П2	420**	9,3	
Авантин 1000 (Avantin 1000)	P3.П1	130**	9,3	
Авантин 1001 (Avantin 1001)	P3.П2	100**	9,3	

Фимитол EP 20 (Fimitol EP 20)	Э1.П3	—	9,1	Операции протягивания, нарезания резьбы, притирки (сталей) Обработка цилиндрических труб, глубокое сверление сталей Обработка на многошпиндельных автоматах сплавов алюминия и меди
Фимитол EP 20-1 (Fimitol EP 20-1)	Э1.П2		9,0—9,3	
Фимитол EP-20-AL (Fimitol EP-20-AL)	Э1.П1		8,0—8,5	
Фимитол EP 20-VA (Fimitol EP 20-VA)	Э1.П3	—	9,0—9,5	Тяжелые операции резания труднообрабатываемых материалов

Испания

Фирма «Хиспано Химика S.A.»

Импакт А (Impact A) Импакт L (Impact L)	Э1.П1.	—	8,5—9,5	Лезвийная и абразивная обработка черных и цветных металлов (операция средней трудности)
Импакт 851 (Impact 851) Импакт 52 (Impact 52)	Э1.П2.абв	—	8,5—9,5	Тяжелые операции лезвийной и абразивной обработки черных и цветных металлов
Импакт 77 (Impact 77)	Э2.П1.	—	8,0—9,0	Лезвийная обработка сплавов алюминия и меди, не пригодно для обработки магния и его сплавов
Импакт 249 (Impact 249) Импакт 290 (Impact 290)	Э2.П2.	—	8,5—9,5	Лезвийная обработка чугунов, углеродистых сталей (операции средней трудности)
Импакт 26 (Impact 26) Импакт 88 C2 (Impact 88 C2)	Э2.П1	—	8,5—9,5	Лезвийная обработка сталей и чугунов

Наименование СОТС	Классификационное обозначение СОТС (ИСО 6743/7)	Вязкость кинематическая, мм ² /с, при 40 °С	рН 5%-ного водного раствора	Область преимущественного применения

Фирма «Мобил Ойл»

Мобилмет 120 (Mobilmet 120)	Э2.П3	—	9,0—9,3	Широкий круг операций лезвийной и абразивной обработки (в том числе на автоматах) сталей и цветных металлов
Мобилмет 150 (Mobilmet 150)	Э1.П3	48,3	9,0—9,5	Обработка резанием сталей (в том числе с высоким содержанием никеля и молибдена) и цветных металлов
Мобилмет 170 (Mobilmet 170)	Э1.П3	—	9,0—9,3	
Суперкат 160 (Supercut 160)	Э2.П3	148,0	9,0—9,6	
Сольвак 77 (Solvac 77)	Э1.П2	34,0	8,9—9,6	Широкий круг операций лезвийной и абразивной обработки черных и цветных металлов
Сольвак 1535 (Solvac 1535)		28,7	8,8—9,6	
Суперсинт 210 (Supersynt 210)	Р3.П3	—	9,0—9,6	Широкий круг операций шлифования черных и цветных металлов, производство фасонных труб

* При 50 °С.

** При 20 °С.

Наименование СОТС	Классификационное обозначение СОТС (ИСО 6743/7)	Вязкость кинематическая, мм ² /с, при 40 °С	рН 5%-ного водного раствора	Область преимущественного применения
Импакт 200 (Impact 200) Импакт 600 (Impact 600) Импакт 99 (Impact 99) Импакт 400 (Impact 400) Импакт 212 (Impact 212)	Э2.П3 Э2.П2 Э2.П3 Р3.П1 Р3.П2	— — —	8,4—9,4 8,5—9,5 8,6—9,3 9,0—10,0	Тяжелые операции лезвийной обработки сталей, чугунов, сплавов алюминия Шлифование всех металлов, кроме магния
Импакт 424 (Impact 424)	Р3.П1	—	8,5—9,5	Лезвийная и абразивная обработка стали, чугунов, сплавов алюминия

Швейцария

Фирма «СМТ Интернешнл»

Аквасол 2-15 (Aquasol 2-15)	Э2.П1.абвг	—	9,5—9,7	Шлифование сталей, чугуна, алюминия, меди и их сплавов
Аквасол 5-58 (Aquasol 5-88)	Э1.0	—	9,5—9,7	Лезвийная обработка черных и цветных металлов, возможно применение на операциях шлифования
Био 3-73 КИ (Bio 3-73 КИ)	Э2.П2	—	9,4—9,6	Резьбонарезание, точение легированных сталей; шлифование подшипниковых сталей
D 214 K	Э2.П1.абвг	—	9,3—9,7	Лезвийная обработка сталей, чугунов, алюминия, меди и их сплавов
D 214 KEP	Э2.П2абв	—	9,2—9,5	Лезвийная обработка высоколегированных сталей, чугунов, алюминия, меди и их сплавов
Флюид 8-52 K (Fluid 8-52 K)	Р3 П1.ав	—	9,3—9,5	Шлифование сталей и чугуна; операции лезвийной обработки

Форте 1-75	Э2.П1.абв	—	9,5—9,8	Лезвийная обработка алюминия и сталей (точение, глубокое сверление и др.). Не пригодно для обработки чугуна, магния и его сплавов
Форте 4-14 (Forte 4-14)	Э1.П2.абв	—	9,3—9,6	Лезвийная и абразивная обработка сталей (в том числе высоколегированных) в тяжелых условиях
Юниверсал 1-37 (Universal 1-37) Юниверсал 1-37K (Universal 1-37K)	Э1.П1.а	—	9,2—9,4	Точение, шлифование, хонингование сталей, чугуна, алюминия и его сплавов

США

Фирма «Эксон»

Катвел 30 (Kutwell 30)	Э1.0	—	8,8—9,5	Обработка резанием черных и цветных металлов.
Катвел 40 (Kutwell 40)				Используется в централизованных системах подачи СОТС
Катвел EP 66 (Kutwell EP 6)	Э1.П1	—	9,0—9,5	Обработка инструментом из быстрорежущей стали труднообрабатываемых сталей и сплавов, шлифование черных металлов
Катвел 60 (Kutwell 60)	Э2.0	—	9,2—9,5	Шлифование и другие операции обработки резанием черных и цветных металлов
Катвел 80 (Kutwell 80)	Э2.П1.	—	9,5—9,7	Обработка резанием черных и цветных металлов
Катвел 70 (Kutwell 70)	Р3 П1	—	8,8—9,0	Высокоскоростная обработка сталей карбидным или керамическим инструментом, шлифование, сверление, фрезерование сталей, чугунов, легких и цветных металлов